



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

Raphaela Lopes de Andrade Silva

**EVOLUÇÃO METAMÓRFICA DOS CORPOS MÁFICOS DA  
SUÍTE JOSÉ GONÇALVES NA SEÇÃO FORTE SÃO  
MATHEUS - PRAIA DAS CONCHAS, CABO FRIO (RJ)**

Trabalho Final de Curso

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2021



Raphaela Lopes de Andrade Silva

# **EVOLUÇÃO METAMÓRFICA DOS CORPOS MÁFICOS DA SUÍTE JOSÉ GONÇALVES NA SEÇÃO FORTE SÃO MATHEUS - PRAIA DAS CONCHAS, CABO FRIO (RJ)**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Geologia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de grau em Geologia.

Orientador: Renata da Silva Schmitt - Depto. Geologia/UFRJ

Coorientadora: Thayla Almeida Teixeira Vieira – Doutoranda do Programa de Pós Graduação do Depto. Geologia/UFRJ

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2021

## FICHA CATALOGRÁFICA

LOPES, RAPHAELA DE ANDRADE SILVA

**Evolução metamórfica dos corpos máficos da Suíte José Gonçalves na Seção Forte São Matheus - Praia das Conchas, Cabo Frio (RJ)** / Raphaela Lopes de Andrade Silva – Rio de Janeiro: UFRJ, Instituto de Geociências, 2021.

**xi, 85 p.**

Trabalho Final de Curso: Graduação em Geologia – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2021.

Orientadora: Renata da Silva Schmitt.

Coorientadora: Thayla Almeida Teixeira Vieira.

Raphaela Lopes de Andrade Silva

# **EVOLUÇÃO METAMÓRFICA DOS CORPOS MÁFICOS DA SUÍTE JOSÉ GONÇALVES NA SEÇÃO FORTE SÃO MATHEUS - PRAIA DAS CONCHAS, CABO FRIO (RJ)**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Geologia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de grau em Geologia.

Orientadora: Renata da Silva Schmitt - Depto. Geologia/UFRJ

---

Dra. Renata da Silva Schmitt (UFRJ)

---

Dr. Gustavo Luiz Campos Pires (UFRJ)

---

Dra. Mahyra Ferreira Tedeschi (UFMG)

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2021

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais, que sempre me incentivaram em tudo na vida, mas principalmente à dedicação aos meus estudos. Vocês têm um papel fundamental em todas as minhas conquistas até hoje e por tudo que eu sou. Meu pai sempre me mostrou o caminho certo e me fez lutar pelos meus objetivos. Minha mãe, companheira fiel, sempre me mostrou o lado bom das dificuldades e me incentivou a despertar minha própria opinião. Minha eterna gratidão por vocês serem minha família.

Aos meus amigos, tanto aqueles com quem a convivência foi diminuída pela crescente demanda de tempo que a faculdade exige quanto aqueles quem tive o prazer de conhecer nessa nova fase da minha vida e dividir o amor por nossa ciência. Um agradecimento especial aos amigos do Diretório Acadêmico Joel Valença pela troca sincera, pelas conversas profundas e muita geologia debatida. Viramos uma família que une muitas gerações e que cresce e evolui junta, que sigamos assim.

Ao meu namorado, Guido, que foi um grande parceiro nessa jornada, incentivador da minha curiosidade e amor pela geologia. Obrigada pelo apoio.

À minha orientadora, Renata Schmitt, pela oportunidade e confiança que me foi dada em começar meu projeto de pesquisa. Sou grata por ter o privilégio de poder trabalhar com uma geóloga que me serve de inspiração pessoalmente e profissionalmente. Além disso, também tive o prazer de ser coorientada pela doutoranda Thayla Vieira, que me ajudou muito nessa caminhada. Obrigada não só por todo o conhecimento que dividiu comigo como pela amizade que desenvolvemos ao longo do tempo. Agradeço também aos demais companheiros do Centro Digital Gondwana de Geoprocessamento por toda troca, ensinamentos e suporte.

Não poderia deixar de agradecer a todo o corpo de professores. Máxima gratidão pelos 5 anos de aprendizado de ponta que me foi proporcionado. Um grande abraço em particular aos professores Julio Cesar Mendes e André Ribeiro, grandes pessoas e geólogos que me ajudaram muito nessa reta final. Na mesma linha, agradeço aos demais funcionários da UFRJ, que se dedicam diariamente a nossa universidade.

Este é mais um resultado do projeto de pesquisa “Evolução tectônica de um orógeno colisional no Cambro-Ordoviciano (545 a 440 Ma): estudo de caso no setor

SE do Orógeno Ribeira – Brasil”, que conta com o financiamento do CNPq, pelo edital UNIVERSAL (n. 427676/2016-9). Estendo meu agradecimento ao Centro Digital Gondwana de Geoprocessamento da UFRJ, Laboratório de Geologia Sedimentar UFRJ (Lagesed), Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), Laboratório Geológico de Processamento de Amostras UERJ (LGPA), Laboratório de Amostras Geológicas da UFRJ (LAG), Laboratório de Microsonda Eletrônica UFRJ (LABSONDA), Laboratório Multi Usuário de Meio Ambiente e Materiais UERJ (MultiLab) e GeoLab do Centro de Pesquisas em Geocronologia e Geoquímica Isotópica USP, pelo aparato e material disponibilizados respectivamente para geoprocessamento, petrografia, preparação de amostras, química mineral e datação U-Pb. Também ao Vítor Savastano, geólogo que cedeu generosamente as imagens de VANT, ao Prof. Dr. Leonardo Inocêncio (UNISINOS) que processou as imagens de VANT e ao laminador Sr. Tarcísio Abreu, responsável pela confecção de todas as lâminas descritas.

O Ensino Público resiste e insiste! É um sonho realizado me formar na Universidade Federal do Rio de Janeiro.

## RESUMO

Rochas básicas são bons exemplares para o estudo das condições de pressão e temperatura de um evento metamórfico. Ao ocorrerem como intrusões, essas rochas podem trazer também informações sobre as condições as quais suas encaixantes foram submetidas. Neste trabalho, são apresentadas evidências de campo, petrográficas, química mineral e dados isotópicos que ajudam a contar a evolução metamórfica do Domínio Tectônico do Cabo Frio durante a orogenia cambriana Búzios, a partir dos dados das intrusivas básicas neoproterozoicas da Suíte José Gonçalves. O estudo abordou a seção que se estende da Praia das Conchas ao Forte São Matheus, em Cabo Frio, RJ. Essas intrusivas são ortoanfibolitos, que podem conter granada, clinopiroxênio, e localmente biotita. Têm assinatura geoquímica do tipo N-MORB e são interpretados como paleodiques de diabásio. A idade de intrusão de 550 Ma foi obtida a partir da datação U-Pb de cristais de zircão, por duas técnicas, o LA-ICP-MC/MS e SHRIMP-II. Cristais com morfologia metamórfica foram datados em 500 Ma. Os dados geocronológicos posicionam os paleodiques como pré a sin-colisionais. A petrografia e a química mineral permitiram caracterizar três paragêneses metamórficas distintas, de fácies granulito, anfibolito e xisto verde, respectivamente. A primeira delas (granada+diopsídio+hornblenda+andesina+quartzo), preservada nos domínios de menor *strain*, representa o pico metamórfico. Texturas típicas marcam desequilíbrio na fácies anfibolito e são atribuídas ao retrometamorfismo, como corona de titanita em ilmenita, substituição parcial de diopsídio por hornblenda e diminuição do teor de anortita do núcleo para a borda de plagioclásio. Hornblenda+andesina estão em equilíbrio na fácies Anfibolito. Representa um ciclo progressivo-retrógrado que pode estar ou não relacionado com a terceira e última paragênese caracterizada como clorita+actinolita+hornblenda+oligoclásio+epidoto. Esta última associação metamórfica ocorre localmente, próxima a veios leucograníticos interpretados como leucossomas, que agregaram líquidos e íons livres as reações metamórficas.

**PALAVRAS CHAVE:** DOMÍNIO TECTÔNICO DO CABO FRIO; FAIXA RIBEIRA; EVOLUÇÃO METAMÓRFICA; ORTOANFIBOLITO.

## **ABSTRACT**

Basic rocks are good materials for determining pressure and temperature conditions during metamorphic events. As intrusions, these rocks can also bring information about the metamorphic conditions undergone by their host rocks. This work shows field evidences, petrography, mineral chemistry and isotopic data that contribute with the understanding of the metamorphic evolution of the Cabo Frio Tectonic Domain during the Cambrian Buzios orogeny, based on data from Neoproterozoic basic intrusions of the José Gonçalves Suite. The study comprises the section that extends from Concha Beach to São Matheus Fort in Cabo Frio, RJ. These intrusions are orthoamphibolites that may contain garnet, clinopyroxene, and locally biotite. Are N-MORB type and interpreted as diabase paleodikes. A zircon U-Pb age of 550 Ma was obtained through two techniques, LA-ICP-MC/MS and SHRIMP-II. Crystals with metamorphic morphology are 500 Ma. The data encompasses these basic bodies into a pre to syn-colisional tectonic setting. Through petrography and the mineral chemistry three different metamorphic paragenesis were established: granulite, amphibolite and greenschist facies, respectively. The first (garnet+diopside+hornblende+andesine+quartz) is preserved in the low strain domains and represents the metamorphic peak. Typical disequilibrium textures at amphibolite facies are attributed to retrometamorphism, as corona type of titanite surrounding ilmenite, partial substitution of diopside into hornblende and decrease in anorthite content between the core and rim of plagioclase. Hornblende+andesine are in equilibrium at amphibolite facies. This represents a progressive-retrograde cycle that can be or not related to the third paragenesis of chlorite+actinolite+hornblende+oligoclase+epidote. The last metamorphic association occurs locally, related to leucogranites veins interpreted as leucosomes that add liquids and free ions into the metamorphic reactions.

**KEY-WORDS:** CABO FRIO TECTONIC DOMAIN; RIBEIRA BELT; METAMORPHIC EVOLUTION; ORTHOAMPHIBOLITES.



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: (A) Localização do município de Cabo Frio no Brasil, com zoom no Estado do Rio de Janeiro. (B) Mapa de acesso a Cabo Frio tendo como ponto de partida o Centro do município do Rio de Janeiro. ....	15
Figura 2: <i>Basemap</i> com sobreposição de imagem de satélite e fotografia de VANT para mapeamento da Seção Forte São Matheus - Praia das Conchas. Os pontos de interesse estão destacados com estrelas (★). ....	16
Figura 3: Preparação de amostras para geocronologia: (A) Britagem no britador de mandíbulas; (B) Concentração de minerais pesados por bateia; (C) Moagem no moinho de discos; (D) Mesa hidrodinâmica usada para concetração de minerais pesados.....	20
Figura 4: Equipamentos usados para datação isotópica. (A) LA-ICP-MC/MS do MultiLab - UERJ. (Fonte: website MultiLab - <a href="https://multilab-uerj.com.br">https://multilab-uerj.com.br</a> ). (B) SHRIMP do LabGeo. Fonte Tassinari et al., 2014. ....	21
Figura 5: Compartimentação da Faixa Ribeira Central em quadro terrenos: Terreno Ocidental, Terreno Embu/Paraíba do Sul, Terreno Oriental e Domínio Tectônico do Cabo Frio. O último dividido em embasamento paleoproterozóico (Complexo Região dos Lagos) e Sequência supracrustal (Grupo Búzios-Palmital). Também Faixa Brasília, Cráton São Francisco e blocos autóctones. <i>Modificado de Schmitt et al., 2016</i> .....	24
Figura 6: Contexto geotectônico. (A) Mapa reconstruído do Gondwana Oeste com o encaixe das margens conjugadas do Atlântico Sul. Os escudos cristalinos representam os cratons do Neoproterozoico. As faixas móveis brasileiras-pan-africanas estão classificadas pela idade dos eventos tectono-metamórficos; (B) Modelo tectônico proposto por Schmitt <i>et al.</i> (2016) com o fechamento do Oceano Búzios e colisão entre o bloco de Angola e o Terreno Oriental da Faixa Ribeira, responsáveis pelo metamorfismo e deformação das unidades litoestratigraficas do Domínio Tectônico do Cabo Frio. <i>Modificado de Schmitt et al. (2016, 2018)</i> .....	25
Figura 7: (A) Mapa Geológico da Seção Forte São Mateus – Praia das Conchas. (B) Seção geológica esquemática. Modificado de Vieira <i>et al.</i> , 2020.....	27
Figura 8: Rochas que afloram no mapa geológico da área de estudo (Figura 7). (A) ortogneisse granítico porfirítico em domínio de menor deformação; (B) ortogneisse diorítico migmatizado cortado por zona de cisalhamento; (C) ortogneisse diorítico com veios leucossoma paralelos e a foliação evidenciando charneira de dobra com eixo mergulhando para NE; (D) porfiroclasto do tipo <i>augen</i> com fenocristal de feldspato potássico rotacionado preservado no núcleo; (E) contato tectônico entre porção ácida e básica do embasamento paleoproterozoico preenchida por leucossoma feldspático; (F) corpo máfico Praia Brava em porção migmatítica com textura estromática e bandamento composicional; (G) lente de sill-bt gnaiss; (H) lente de ky-sill-grt-bt gnaiss.....	29
Figura 9: Ponto de interesse RL-01. (A) imagem de VANT de alta resolução do Forte São Mateus com pontos de coleta de amostras destacados com ★. Nota-se a deformação dos corpos máficos e a migmatização do embasamento (em rosa) no	

contato tectônico com o ortoanfibolito paleoproterozóico (em laranja); (B) croqui de detalhe do Forte São Mateus com corpos máficos da Suíte José Gonçalves em forma de bolsões e paleodiques evidenciando dobras fechadas; (C) xenólito de ortognaisse granítico dentro de paleodique máfico; (D) paleodiques de ortoanfibolito deformados formando dobras isoclinais reclinadas; (E) paleodique ortoanfibolítico cortado por zona de cisalhamento com movimentação sinistral; (F) *megaboudin* de ortoanfibolito cortado por veio de pegmatito (pontos de coleta de amostras destacados com ★). .....31

Figura 10: Ponto de interesse RL-03. (A) imagem de VANT de alta resolução do afloramento RL-03 no Costão do Parque Municipal Boca da Barra, com ★ estão destacados os pontos de coleta de amostras; (B) croqui de detalhe do polígono de A com região da Figura 10F delimitada em vermelho; (C) lineação mineral e de estiramento do ortognaisse granítico e do ortoanfibolito José Gonçalves paralelas; (D) xenólitos de ortognaisse granítico estirado em conjunto com o paleodique máfico; (E) paleodique de ortoanfibolito *boudinado* e migmatizado, com leucossoma concentrado principalmente nos *necks* dos *boudins*; (F) porção inferior do afloramento RL-03 (demarcada em vermelho na Figura B) com alto grau de migmatização, o escalonamento de *boudins* indica um movimento de cinemática transcorrente sinistral. ....32

Figura 11: Ponto de interesse RL-02. (A) imagem de VANT de alta resolução do afloramento RL-02 no Costão do Parque Municipal Boca da Barra, com ★ estão destacados os pontos de coleta de amostras; (B) croqui de detalhe do polígono semelhante a Figura 23A; (C) foliação penetrativa dos paleodiques José Gonçalves concordante com a da encaixante gnáissica; (D) estrutura corta-corta ígnea em ponto preservada indicando relação de intrusão. ....33

Figura 12: Imagens em microscópio binocular de luz refletida para lâminas de ortoanfibolito nos domínios de baixo strain com paragênese mineral da fácies granulito preservada. (A) e (B) mostram respectivamente a luz natural e polarizada a paragênese de pico metamórfico em equilíbrio com cristais euédricos formando contatos poligonais com junções triplices e textura do tipo *annealing* ;(C) cristais granulares com faces poligonais de diopsídio sendo substituídos por hornblenda; (D) cristal de diopsídio substituído parcialmente por hornblenda, a nicóis cruzados a cor de interferência do piroxênio de mantém preservada ;(E) rutilo incluído em granada;(F) rutilo associado a opaco. ....36

Figura 13: Imagens em microscópio binocular de luz refletida para lâminas de ortoanfibolito nos domínios de alto strain, onde a paragênese mineral da fácies anfibolito está mais preservada. (A) e (B) respectivamente a luz natural e polarizada mostrando em visão geral a paragênese de fácies anfibolito com cristais de hornblenda alongados atribuindo textura nematoblástica; (C) diopsídio sendo substituído por hornblenda a partir de suas fraturas; (D) cristais de titanita incluídos em hornblenda e substituição deste mineral por biotita rica em ferro; (E) textura em corona formada por exolução de titanita ao redor de ilmenita; (F) textura em corona formada por plagioclásio ao redor de titanita incluída em hornblenda. ....38

Figura 14: Imagens em microscópio binocular de luz refletida para lâminas de ortoanfibolito com paragênese mineral da fácies xisto verde. (A) e (B) ortoanfibolito com assembléia mineral da xisto verde em zona migmatítica respectivamente a luz natural e polarizada, mostrando plagioclásio, anfibólio, granada, biotita, quartzo, titanita e apatita; (C) cristal polimorfo de clorita substituindo hornblenda; (D) textura em corona de titanita e biotita formada ao redor de inclusão de ilmenita em hornblenda verde; (E) biotitização ocorrendo localmente no contato do ortoanfibolito com veio leucossomático; (F) veio leucossomático composto essencialmente por plagioclásio e quartzo em menor proporção a nicóis cruzados.....	39
Figura 15: Locais de coleta de amostra para geocronologia. (A) Afloramento RL-02. Paleodique de ortoanfibolito, pouco deformado e preservado de fusão parcial; (B) <i>Boudin</i> de ortoanfibolito em domínio de alto <i>strain</i> e taxa fusão parcial.....	40
Figura 16: Imagem de catodoluminescência dos grãos de zircão do exemplar RL-07A. Destacados os <i>spots</i> de análise e suas respectivas idades U-Pb e razões Th/U. ....	41
Figura 17: Diagrama da concórdia com as elipses das análises da amostra RL-07A. ....	42
Figura 18: Imagem de catodoluminescência dos grãos de zircão do exemplar RL-02A. Destacados os <i>spots</i> de análise e suas respectivas idades U-Pb e razões Th/U. ....	43
Figura 19: Diagrama da concórdia para o exemplar RL-02A. ....	44
Figura 20: Gráfico de isógradas minerais para evolução metamórfica de rochas com protólito máfico. Indica o trajeto progressivo (em verde) e retrógrado (em vermelho) e os respectivos momentos de crescimento mineral e assembleias metamórficas.....	48
Figura 21: (A) Química mineral dos anfibólios cálcicos das amostras RL-03E, J e K. ....	50

## Sumário

Agradecimentos .....	v
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1. OBJETIVO E JUSTIFICATIVA.....	14
1.2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO .....	15
<b>2. METODOLOGIA.....</b>	<b>16</b>
2.1. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA .....	16
2.2. SELEÇÃO DE PONTOS DE INTERESSE.....	16
2.3. INVESTIGAÇÃO DE CAMPO .....	17
2.4. PETROGRAFIA .....	18
2.5. QUÍMICA MINERAL.....	18
2.6. GEOCRONOLOGIA U-Pb .....	19
<b>2.6.1. Preparação de amostras .....</b>	<b>19</b>
<b>2.6.2. Análises U-Pb em zircão .....</b>	<b>20</b>
2.7. ORGANIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS.....	22
<b>3. GEOLOGIA REGIONAL .....</b>	<b>23</b>
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>27</b>
4.1. GEOLOGIA DA ÁREA .....	27
4.2. CORPOS MÁFICOS INTRUSIVOS (SUÍTE JOSÉ GONÇALVES).....	30
4.3. DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA E QUÍMICA MINERAL .....	34
<b>4.3.1. Domínios de baixo <i>strain</i> e fusão parcial (I).....</b>	<b>35</b>
<b>4.3.2. Domínios de alto <i>strain</i> (II).....</b>	<b>36</b>
<b>4.3.3. Domínios migmatíticos (III).....</b>	<b>38</b>
4.4. DADOS GEOCRONOLÓGICOS U-Pb .....	40
<b>5. DISCUSSÃO.....</b>	<b>44</b>
5.1. IDADES U-Pb E CONTEXTO TECTONO-MAGMÁTICO .....	44
5.2. EVOLUÇÃO TECTONO-METAMÓRFICA.....	46
<b>5.2.1. Relação com o embasamento .....</b>	<b>46</b>
<b>5.2.2. Trajetória <i>P-T</i> .....</b>	<b>47</b>
<b>5.2.3. <i>Timing</i> de crescimento de zircão .....</b>	<b>51</b>

<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>53</b>
<b>APÊNDICE I.....</b>	<b>59</b>
<b>APÊNDICE II.....</b>	<b>77</b>
<b>APÊNDICE III.....</b>	<b>83</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Diques máficos são essenciais para o entendimento de eventos geológicos por serem indicadores de estabilização, reconstrução e dispersão de paleocontinentes, aparecendo em ambientes específicos de interação manto-crosta (Santiago *et al.*, 2019). Enxames de diques toleíticos são comuns no registro geológico desde o Arqueano. Em geral, são atribuídos a períodos em que predomina uma tectônica extensional envolvendo fusão parcial da crosta inferior e manto litosférico. Todavia a origem destes enxames pode ser diversa, como associada a ambientes convergentes em zonas de subducção e em zonas colisionais (Libório, 2012).

Em terrenos de alto grau metamórfico, os diques máficos são preservados como anfíbolitos e rochas afins, por conta da sua alta competência e ponto de fusão. Além disso, devido a pouca variação composicional e reações contínuas durante o metamorfismo, são bons indicadores de pressão e temperatura a que essa rocha e sua encaixante foram submetidas (Bucher & Grapes, 2011). Desta forma, a investigação destas unidades pode nos trazer informações sobre a evolução tectono-metamórfica desses segmentos crustais.

No Neoproterozoico, a convergência entre os crátons São Francisco, Congo e Paranapanema deu origem à Faixa Ribeira (Heilbron *et al.*, 2008). Seu segmento mais sudeste, o Domínio Tectônico Cabo Frio (DTCF), tem um embasamento paleoproterozoico correlacionável ao Cráton do Congo em Angola (Schmitt *et al.*, 2016). Esse embasamento cristalino é intrudido por pelo menos duas gerações de diques máficos. A primeira delas, representada pelos paleodiques ortoanfíbolíticos da Suíte José Gonçalves, está metamorfizada em alto grau (Schmitt *et al.*, 2016; Vieira *et al.*, 2020) e é o foco desse trabalho.

A origem dessa suíte ainda é pouco conhecida, sabe-se que estes corpos têm composição basáltica toleítica do tipo N-MORB (Schmitt *et al.*, 2016; Capistrano *et al.*, 2020), cortam o embasamento, porém não intrudem a sucessão supracrustal, e que ambas foram deformadas e metamorfizadas em conjunto durante a Orogenia Búzios no Cambriano (Schmitt *et al.*, 2016).

### 1.1. OBJETIVO E JUSTIFICATIVA

O objetivo geral do presente trabalho é caracterizar as assembleias mineralógicas metamórficas dos corpos máficos da Suíte José Gonçalves e as

condições as quais essas rochas, assim como seu embasamento, foram expostas ao longo do tempo geológico.

Como objetivos específicos, tem-se o mapeamento dos corpos máficos, detalhamento das relações de contato com o embasamento, determinação da composição dos minerais metamórficos e idades de cristalização e metamorfismo.

Ao trazer novos dados acerca dos corpos máficos da Suíte José Gonçalves, o presente trabalho tem grande contribuição para a geologia do Domínio Tectônico do Cabo Frio (DTCF), chave para a reconstrução entre América do Sul e África no contexto do Gondwana.

## 1.2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de estudo fica situada no município de Cabo Frio, região costeira do estado do Rio de Janeiro, Brasil (Figura 1A). Foi selecionada para este trabalho uma seção que se estende do Forte São Mateus à Praia das Conchas (Figura 2).

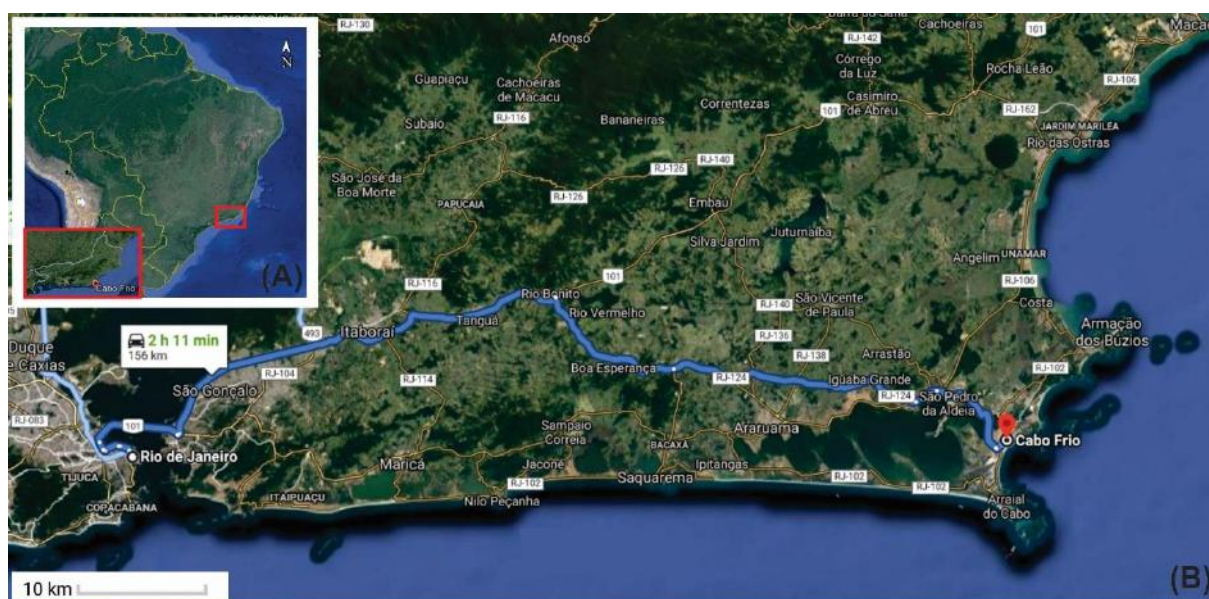


Figura 1: (A) Localização do município de Cabo Frio no Brasil, com zoom no Estado do Rio de Janeiro. (B) Mapa de acesso a Cabo Frio tendo como ponto de partida o Centro do município do Rio de Janeiro.

O trajeto para Cabo Frio a partir do Centro do Rio de Janeiro inicia pela rodovia BR-101, onde depois é acessada a RJ-106 (Amaral Peixoto) ou Via Lagos (Figura 1B). O caminho tem em média 156 km e duração de 2h30m.

O Forte São Mateus fica dentro da área urbana da cidade de Cabo Frio enquanto que o costão da Praia Brava e a Praia das Conchas ficam nas proximidades, podendo ser acessados por carro e ônibus. Estão localizados dentro



do Parque Municipal Boca da Barra, que possui várias trilhas de fácil acesso a partir da Ilha do Japonês (Figura 2).

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

O primeiro passo deste trabalho envolveu reunir dados bibliográficos de abrangência regional, identificando os terrenos geológicos e as principais unidades litoestratigráficas da área de interesse. Além disso, usou-se como base trabalhos já realizados e ainda em andamento na área, somando a artigos específicos sobre magmatismo básico e seu contexto geotectônico.

As cartas geológicas 1:100.000 Rio das Ostras (SF.24-Y-A-IV) e Cabo Frio (SF.23-Z-B-VI), do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), assim como seus respectivos relatórios (Schmitt *et al.*, 2009), foram consultadas. No entanto, não possuem escala compatível com o nível de detalhe deste trabalho.

### 2.2. AQUISIÇÃO DE IMAGENS E SELEÇÃO DE PONTOS DE INTERESSE

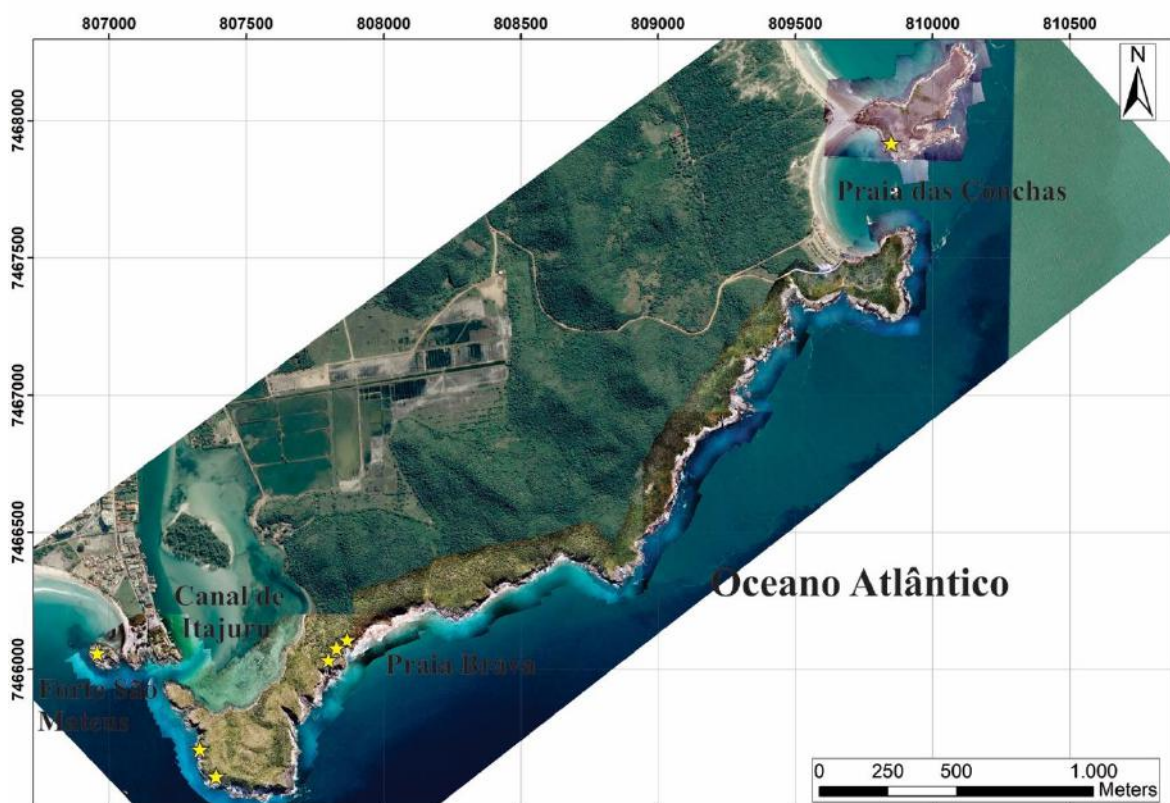


Figura 2: *Basemap* com sobreposição de imagem de satélite e fotografia de VANT para mapeamento da Seção Forte São Matheus - Praia das Conchas. Os pontos de interesse estão destacados com estrelas (★).

A imagem de satélite base utilizada foi obtida através do LANDSAT e o *download* feito com o *software* Terra Incógnita na escala 1:10.500 no dia



13/06/2019. Essa imagem foi sobreposta com imagens de VANT de alta resolução (2 centímetros por pixel), cedidas pelo geólogo Vítor Savastano (CENPES-PETROBRAS), quem realizou aquisição dos dados. O processamento das imagens foi feita pelo Prof. Dr. Leonardo Inocêncio (UNISINOS). Posteriormente ambas as imagens foram georreferenciadas em conjunto no sistema de coordenadas WGS84, UTM zona 23S, na plataforma do *software* ArcMap 10.7.1 (Figura 2).

Com base no produto, foram selecionados pontos de interesse (Figura 2). Os afloramentos escolhidos são aqueles com dois ou mais corpos máficos, domínios pouco deformados com feições primárias de contato ainda preservadas, e ainda domínios com zonas de cisalhamento e migmatização. Essa etapa foi feita em conjunto com o primeiro trabalho de campo em março de 2018.

### 2.3. INVESTIGAÇÃO DE CAMPO

Primeiramente, foi realizado um campo de reconhecimento da área de 26/03/2018 a 29/03/2018 a partir do qual puderam ser observadas as litologias previamente descritas na bibliografia. Esse estágio foi essencial para a posterior seleção dos pontos de interesse a partir das imagens de VANT, pois forneceu informações importantes a respeito da geometria e modo de ocorrência dos corpos.

Após a seleção destes pontos de interesse, os trabalhos de campo focaram nos corpos mais expressivos para maior nível de detalhe. No total, foram realizadas quatro campanhas, somando doze dias de campo, nos períodos de 27/07/2018 a 29/07/2018, 11/04/2019 a 13/04/2019 e 10/10/2019 a 11/10/2019. Foi gerado como resultado um mapa e seção na escala 1:10.500, croquis em escala de afloramento e foram coletadas amostras dos núcleos e bordas dos corpos máficos para confecção de lâminas delgadas e análises isotópicas. Optou-se por amostrar núcleo e borda dos corpos afastadas dos domínios com migmatização, exceto quando houve a intenção de amostrar especificamente esse caso.

Os pontos selecionados na imagem de VANT foram utilizados como base para construção de croquis de detalhe, com estruturas em mesoescala descritas em campo, no intuito de observar a relação da Suíte José Gonçalves com as rochas encaixantes. Como as imagens de VANT são representações em planta, alguns croquis foram feitos com base em fotografias tiradas em campo para assim, retratar corpos que se encontram em cortes verticais.

Foram utilizadas a plataforma do *software* ArcMap 10.6.1 e a imagem construída no item 2.2. (Figura 2) como *background*.

## 2.4. PETROGRAFIA

Foram descritas 17 lâminas petrográficas (Apêndice I). Outras 9 lâminas, do acervo pessoal da professora Renata Schmitt, foram analisadas para comparação com outras localidades e formas de ocorrência de corpos máficos no Domínio Tectônico do Cabo Frio. Foi utilizado o microscópio de luz transmitida NIKON E200 Polarizado do Laboratório de Petrografia do Departamento de Geologia da UFRJ. Após isso as lâminas foram fotografadas no microscópio petrográfico Carl Zeiss ® A.1 no Laboratório de Geologia Sedimentar (Lagesed) do IGEO-UFRJ. Foram caracterizadas a mineralogia essencial, acessória e secundária, textura e microestruturas, além de feições e características possivelmente remanescentes do protólito.

<b>Sigla</b>	<b>Mineral</b>	<b>Sigla</b>	<b>Mineral</b>
Act	actinolita	Hbl	hornblenda
Amp	anfibólio	Ilm	ilmenita
Apt	apatita	Mag	magnetita
Bt	biotita	Opa	opaco
Cb	carbonato	Plg	plagioclásio
Cho	clorita	Qtz	quartzo
Cpx	clioniroxênio	Rt	rutilo
Di	diopsídio	Ttn	titanita
Epd	epidoto	Zr	zircão
Grt	granada		

Tabela 1: Abreviações das nomenclaturas minerais.

## 2.5. QUÍMICA MINERAL

Foram analisados os elementos maiores de cristais de anfibólio, piroxênio, granada, plagioclásio, biotita e titanita. Bordas e núcleo dos grãos foram analisados como exceção das inclusões, sobrecrecimentos em corona e cristais muito pequenos. O intuito é observar as variações composicionais dos minerais.

Três lâminas delgadas (RL-03E, RL-03J, RL-03K) foram selecionadas, das quais cada uma representa uma assembleia mineral descrita no presente trabalho em conjunto com a petrografia no item 4.3. Após descrição petrográfica, os exemplares tiveram círculos de interesse selecionados e fotografados no microscópio Carl Zeiss® A.1.

Posteriormente, as lâminas foram analisadas usando a Microsonda Eletrônica modelo JEOL EPMA – JXA-8230. O processo foi realizado todo em um único dia (09/12/2020) no Laboratório LABSONDA da Universidade Federal do Rio de Janeiro, sob os cuidados do geólogo e professor da UFRJ Julio Cezar Mendes e da química e técnica Iara Déniz Ornellas. O equipamento operou sob um sistema de dispersão de comprimento de onda com cinco espectrômetros e um conjunto de oito cristais analisadores. As condições analíticas foram uma corrente de feixe de 20mA e voltagem de 15KV. As calibrações para os diversos minerais foram realizadas através da leitura de padrões de elementos minerais certificados do Instituto Smithsonian (EUA) ou Astimex Scientific Limited (Serie KM, MIMN 25-53).

Por fim, os dados analíticos foram tratados no *software* Microsoft Office Excel 2010 (Apêndice II).

## 2.6. GEOCRONOLOGIA U-Pb

A datação das amostras foi feita pelo método U-Pb em grãos de zircão concentrados a partir de duas amostras (RL-02A e RL-07A) seguindo a metodologia descrita abaixo.

### 2.6.1. Preparação de amostras

O primeiro passo consistiu na britagem e moagem das amostras respectivamente no britador de mandíbulas e no moinho de discos (Figura 3A e C) no Laboratório Geológico de Preparação de Amostras (LGPA) da Faculdade de Geologia da UERJ. Foram necessários dois dias de trabalho (cerca de 12h) para realização desse processo, uma vez que é necessária a higienização do equipamento após cada amostra para não haver contaminação.

A segunda etapa foi a concentração dos grãos mais densos. Esse processo foi feito através de bateia (realizada no Laboratório de Amostras Geológicas da UFRJ – LAG - Figura 3B) ou mesa hidrodinâmica (no LGPA - Figura 3D) e líquidos densos (no Centro de Tecnologia Mineral - CETEM). O concentrado foi passado no Separador Magnético Frantz Isodinâmico, no CETEM, em um único dia de trabalho.

Por fim, os grãos de zircão foram selecionados em lupa para confecção de um molde polido de resina epóxi, objetivo final na preparação das amostras. Para auxiliar na escolha do local de abrasão, os *mounts* foram imageados com catodoluminescência utilizando um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) modelo Quanta 250, Termo Scientific pelo MultiLab da UERJ.



Figura 3: Preparação de amostras para geocronologia: (A) Britagem no britador de mandíbulas; (B) Concentração de minerais pesados por bateia; (C) Moagem no moinho de discos; (D) Mesa hidrodinâmica usada para concentração de minerais pesados.

### 2.6.2. Análises U-Pb em zircão

As duas amostras foram submetidas a técnicas diferentes de análise U-Pb, porém buscando sempre que possível analisar borda e núcleo do cristal com base na imagem de catodo. Os dados analíticos estão no Apêndice III.

Para a primeira delas (RL-01A), foi utilizado um espectrômetro de massa por descarga de plasma e ablação por laser Neptune Plus (LA-ICP-MC/MS), Photon Machines 193 mm, no MultiLab UERJ (Figura 4A). Os protocolos analíticos utilizados são detalhados em Gerald *et al.* (2015). O ajuste da fração elementar do laser induzido e a diferença de massa foram feitos com base em grãos de zircão padrão (GJ-01, *Mud Tank* e 91500). A ablação é feita com pulsos de laser com repetição de 8-10 Hz durante 40 segundos em um *spot* com tamanho entre 40 - 50µm a potência

de 50-55%. O fluxo de hélio de 0.0755 ml é calibrado em conjunto com gás argônio 0.800 ml.

Após a aquisição, os dados são reduzidos em tabela padrão do laboratório dentro do Excel. Foi gerado o diagrama U-Pb da concórdia com o *software* ISOPLOT 4 (Ludwig, 2009) com intervalo de confiança de 1 sigma.

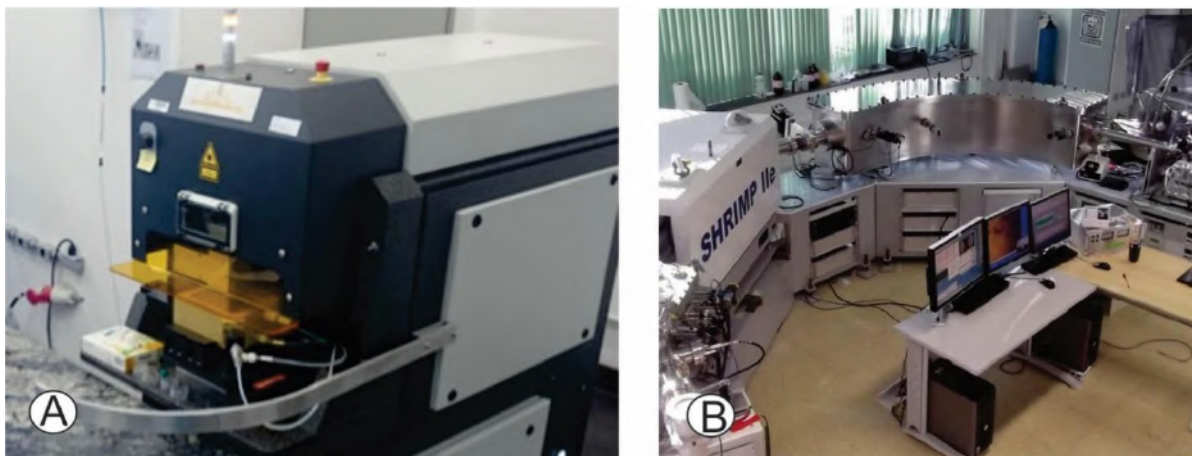


Figura 4: Equipamentos usados para datação isotópica. (A) LA-ICP-MC/MS do MultiLab - UERJ. (Fonte: website MultiLab - <https://multilab-uerj.com.br>). (B) SHRIMP do LabGeo. Fonte Tassinari et al., 2014.

A segunda amostra (RL-02A) foi datada por U-Pb através da microsonda de íons sensível de alta resolução do CPGeo da USP (SHRIMP-II, Figura 4B). Nesse caso, foi utilizado o padrão TEMORA 2 ( $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  age =  $416.78 \pm 0.33$  Ma; Black et al., 2004) e o processamento analítico foi realizado com base em Sato et al. (2014). A abrasão é feita por meio de gás em um *spot* de 24  $\mu\text{m}$  e o processo de uma análise dura em torno de 18 minutos. A correção para Pb comum foi baseada nas medidas de  $^{204}\text{Pb}$  com incerteza da razão  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  menor que 2%.

Os dados foram filtrados usando o *software* SQUID 1.06 e a idade concordante foi calculada através do *software* ISOPLOT 4 (Ludwig, 2009) com intervalo de confiança de 2 sigma. A aquisição dos dados foi realizada pela autora em parceria com a doutoranda Thayla Vieira durante 3 dias, com equipamento funcionando 24 horas por dia, em escalas revezadas de 12 horas de trabalho.

Os gráficos de densidade de probabilidade utilizaram como base os valores de  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  para análises para idades menores do que 1,3 Ga e  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  para idades maiores que 1,3 Ga.

## 2.7. ORGANIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS

Todos os dados obtidos foram reunidos e organizados em tabelas e fichas (Apêndice I, II e III) com o auxílio do *software* Microsoft Office Excel 2010 (Tabela 1).

<b>AMOSTRA (código de coleta)</b>	<b>AMOSTRA (código adaptado)</b>	<b>LOCALIZAÇÃO</b>	<b>UTM (WGS 84 zonas 23S e 24S)</b>	
TH-30A	RL-01A	Forte São Mateus	806988	7466011
	RL-01B	Forte São Mateus	806944	7466040
	RL-01C	Forte São Mateus	806943	7466041
TH-5A	RL-02A	Parque Municipal Boca da Barra	807330	7465681
TH-5B	RL-02B	Parque Municipal Boca da Barra	807330	7465681
TH-7A	RL-03A	Parque Municipal Boca da Barra	807378	7465597
TH-7E	RL-03E	Parque Municipal Boca da Barra	807376	7465576
TH-7I	RL-03I	Parque Municipal Boca da Barra	807370	7465594
TH-7J	RL-03J	Parque Municipal Boca da Barra	807399	7465580
TH-7K	RL-03K	Parque Municipal Boca da Barra	807395	7465585
TH-7M	RL-03M	Parque Municipal Boca da Barra	807387	7465588
TH-7N	RL-03N	Parque Municipal Boca da Barra	807387	7465588
TH-7O	RL-03O	Parque Municipal Boca da Barra	807399	7465580
TH-35F	RL-04	Parque Municipal Boca da Barra	192235	7466005
TH-36A	RL-05	Praia Brava	192245	7466051
TH-17C	RL-06	Praia Brava	192278	7466092
TH-1A	RL-07A	Praia das Conchas	194225	7467977
TH-1B	RL-07B	Praia das Conchas	194225	7467977
ELS	RL-07C	Praia das Conchas	225203	7415852

<b>AMOSTRA (código adaptado)</b>	<b>LITOLOGIA</b>	<b>U-Pb</b>	<b>LÂMINA</b>	<b>QUIM. MINERAL</b>	<b>QUIM. ROCHA TOTAL</b>
RL-01A	Ortonfibolito	NÃO	SIM	NÃO	NÃO
RL-01B	Ortonfibolito	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
RL-01C	Ortonfibolito	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
RL-02A	Grt-Cpx-Ortoanfibiloto	SIM	SIM	SIM	NÃO

RL-02B	Grt-Cpx-Ortoanfibolito	NÃO	SIM	SIM	SIM
RL-03A	Ortonfibolito	NÃO	SIM	NÃO	SIM
RL-03E	Ortonfibolito	NÃO	SIM	SIM	NÃO
RL-03I	Ortonfibolito	NÃO	SIM	NÃO	SIM
RL-03J	Grt-Cpx-Ortonfibolito	NÃO	SIM	SIM	NÃO
RL-03K	Ortonfibolito	NÃO	SIM	SIM	NÃO
RL-03M	Ortonfibolito	NÃO	SIM	NÃO	NÃO
RL-03N	Ortonfibolito	NÃO	SIM	NÃO	NÃO
RL-03O	Ortonfibolito	NÃO	SIM	NÃO	NÃO
RL-04	Grt-Cpx-Ortonfibolito	NÃO	SIM	NÃO	NÃO
RL-05	Ortonfibolito	NÃO	SIM	NÃO	NÃO
RL-06	Grt-Cpx-Ortonfibolito	NÃO	SIM	SIM	SIM
RL-07A	Ortoanfibolito	SIM	SIM	NÃO	SIM
RL-07B	Leucossoma Grt-Cpx-Ortoanfibolito	NÃO	SIM	NÃO	NÃO
RL-07C	Grt-Cpx-Ortoanfibolito	NÃO	SIM	NÃO	SIM

Tabela 2: Listagem do acervo de utilizadas no trabalho.

### 3. GEOLOGIA REGIONAL

No final do Neoproterozoico e início do Cambriano, a convergência entre os crátons São Francisco, Congo (com bloco Angola) e Paranapanema gerou a Faixa Ribeira (Figura 6A - Campos Neto & Figueiredo, 1995; Heilbron *et al.*, 2008; Schmitt *et al.*, 2016). No seu segmento central, esta faixa móvel foi compartimentada por Heilbron *et al.* (2003; 2008) em quatro terrenos (Figura 5): Terreno Ocidental, Terreno Paraíba do Sul/Embu (Trouw *et al.*, 2013), Terreno Oriental e Domínio Tectônico Cabo Frio (DTCF).

O Terreno Ocidental corresponde a gnaisses orto e para-derivados do embasamento e cobertura sedimentar que constituíam a paleomargem do Cráton São Francisco, retrabalhada durante os eventos tectônicos do Brasileiro (Heilbron *et al.*, 2008). O embasamento paleoproterozoico gnáissico e a cobertura metassedimentar proterozóica correspondem à porção autóctone desse orôgeno (Figura 6). O Terreno Oriental é constituído por ortognaisses e complexos ígneos que intrudem sequências supracrustais, ambas do Neoproterozoico. São interpretados como arcos magmáticos foi acrescidos ao Terreno Ocidental durante a subducção para leste (Tupinambá *et al.*, 2012; Heilbron *et al.*, 2013;



Peixoto *et al.*, 2017). O Terreno Paraíba do Sul/Embu representa uma clip do embasamento dos crátons São Francisco e Paranapanema, também com cobertura metassedimentar (Figura 6 - Heilbron & Machado, 2003; Heilbron *et al.*, 2008).

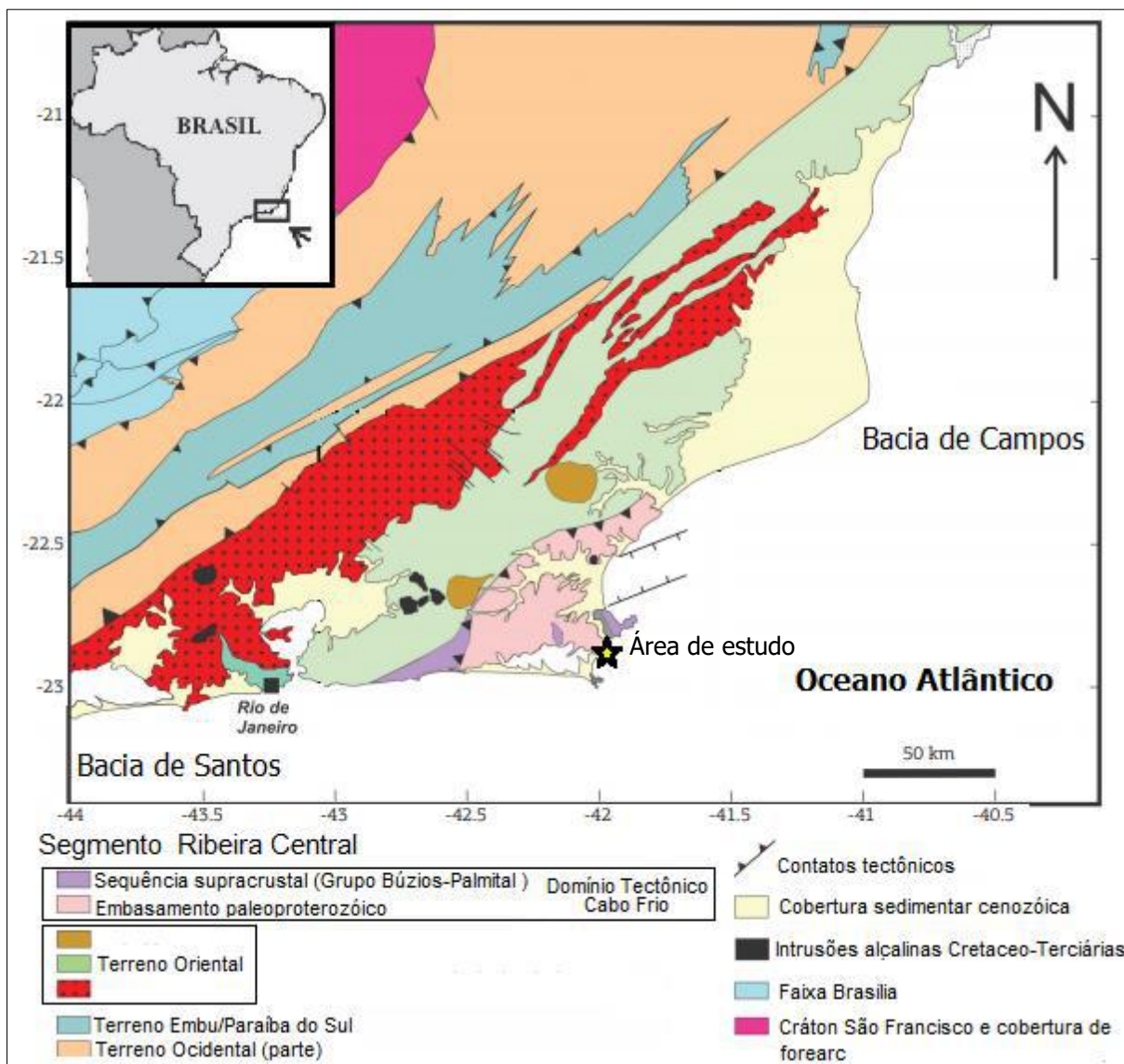


Figura 5: Compartimentação da Faixa Ribeira Central em quatro terrenos: Terreno Ocidental, Terreno Embu/Paraíba do Sul, Terreno Oriental e Domínio Tectônico do Cabo Frio. O último dividido em embasamento paleoproterozóico (Complexo Região dos Lagos) e Sequência supracrustal (Grupo Búzios-Palmital). Também Faixa Brasília, Cráton São Francisco e blocos autóctones. *Modificado de Schmitt et al., 2016*

O Domínio Tectônico do Cabo Frio (DTCF), foco deste trabalho, é a porção mais sudeste da Faixa Ribeira. Seu embasamento é composto predominantemente por ortognaisses definidos por Fonseca *et al.* (1979) como Complexo Região dos Lagos (Figura 8 - Schmitt *et al.*, 2008). Inclui rochas ácidas a intermediárias com idade de cristalização de 2,0-1,94 Ga (Schmitt *et al.*, 2004, 2008, 2016; Viana *et al.*,



2008). São correlacionadas com o embasamento que aflora na costa de Angola, na África, parte do Cráton do Congo (Schmitt *et al.*, 2016).

Contudo, no DTCF estão intercalados tectonicamente com sequências supracrustais do Ediacarano (Grupo Búzios-Palmital – Figura 5), formadas por paragneisses aluminosos e psamíticos, além de rochas calcissilicáticas e metabásicas (Figura 8 G e H) (Schmitt *et al.*, 2009, 2016; Capistrano *et al.*, 2020), descritas a seguir.

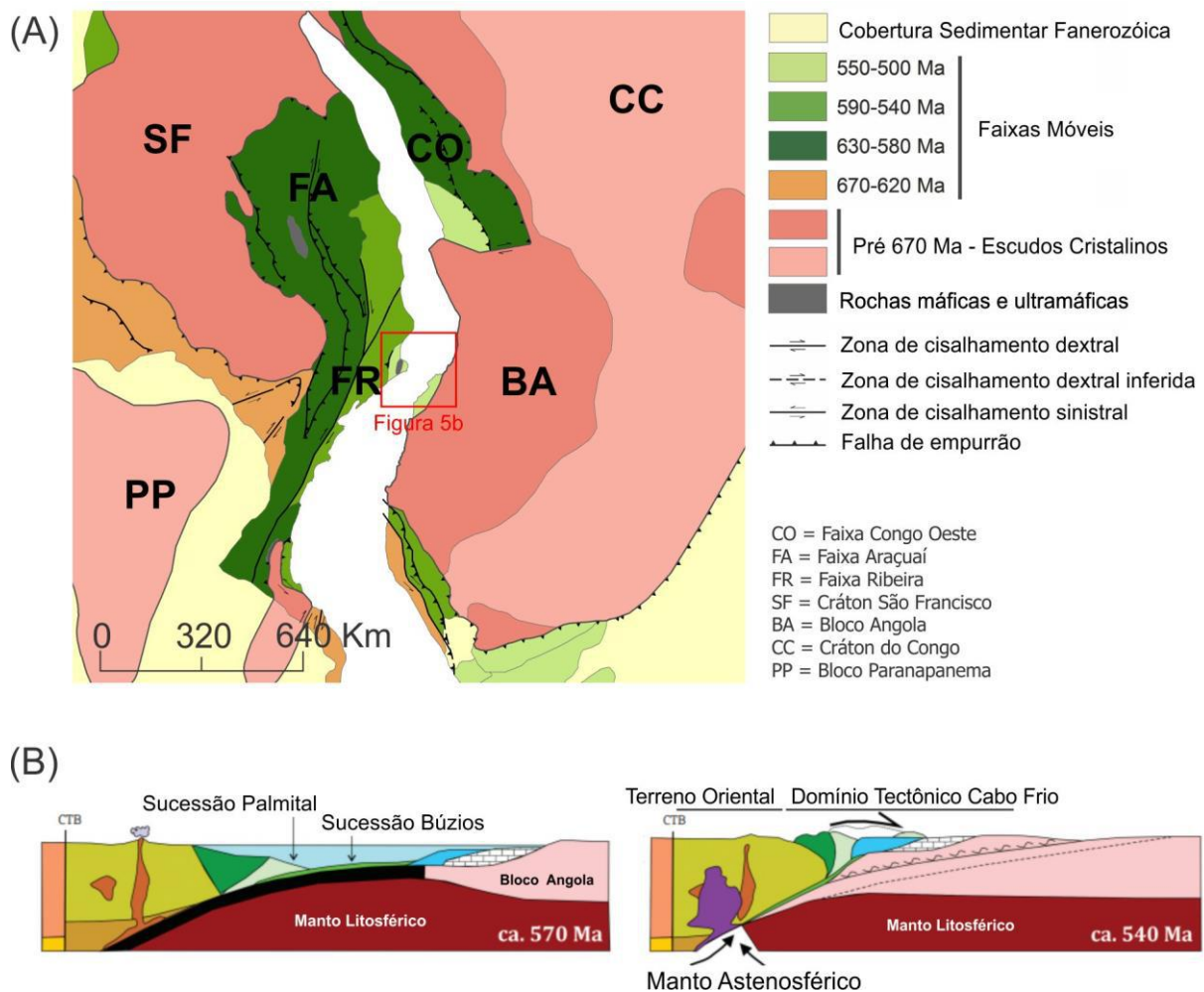


Figura 6: Contexto geotectônico. (A) Mapa reconstruído do Gondwana Oeste com o encaixe das margens conjugadas do Atlântico Sul. Os escudos cristalinos representam os cratons do Neoproterozoico. As faixas móveis brasileiras-pan-africanas estão classificadas pela idade dos eventos tectono-metamórficos; (B) Modelo tectônico proposto por Schmitt *et al.* (2016) com o fechamento do Oceano Búzios e colisão entre o bloco de Angola e o Terreno Oriental da Faixa Ribeira, responsáveis pelo metamorfismo e deformação das unidades litoestratigráficas do Domínio Tectônico do Cabo Frio. Modificado de Schmitt *et al.* (2016, 2018).

O contexto tectônico da justaposição destas unidades pode ser descrito como uma bacia de *back arc* invertida (Heilbron & Machado, 2003; Heilbron *et al.*, 2008), ou bacias de *fore arc* e prisma acrescionário, relacionadas a uma subducção para oeste que terminaria em um evento colisional (Figura 6B – Schmitt, 2001; Schmitt *et al.*, 2008).

*al.*, 2008, 2016; Fernandes *et al.*, 2015; Martins *et al.*, 2016; Capistrano *et al.*, 2017, 2020). A Orogenia Búzios durou de 530-495 Ma e foi responsável por uma série de dobramentos e empurrões com vergência para NW (Figura 5 – Schmitt, 2001; Schmitt *et al.*, 2016) que diferenciam o *trend* NE das estruturas do DTCF dos demais compartimentos da Faixa Ribeira (Heilbron & Machado, 2003).

Dados recentes indicam que alguns destes corpos máficos “supracrustais” intrudiram no Ediacarano, num contexto pré-colisão cambriana (Schmitt *et al.*, 2016). Capistrano *et al.* (2020) mostra que dois tipos de magmatismo máfico podem existir. Na mesma secção deste trabalho, no Forte São Mateus em Cabo Frio/RJ, estes autores obtiveram idades Nd TDM paleoproterozóicas para um corpo de ortoanfibolito (Figura 7). Além disso, a assinatura geoquímica destes é distinta daqueles metabasitos intercalados com a unidade Búzios relacionado ao proto-oceano Ediacarano. Enquanto que o corpo do Forte São Matheus são relacionados a ilhas oceânicas (OIB), os corpos máficos Praia Brava e Ponta do Chapéu são do tipo E-MORB E N-MORB, interpretados como de ambiente extensional.

Há ainda corpos máficos tabulares intercalados com o embasamento ortognaissico paleoproterozoico, deformados e metamorizados em conjunto com o mesmo. Sua origem é controversa. A Suíte José Gonçalves inclui corpos intrusivos ortoanfibolíticos de composição basáltica toleítica do tipo N-MORB (Figura 8 E e F - Schmitt *et al.*, 2012, 2016; Capistrano *et al.*, 2020) e está metamorizada em altas pressões e temperaturas (Schmitt *et al.*, 2016). A Suíte intrude o embasamento ortognaissico orosiriano e não intrude as unidades litoestratigráficas supracrustais do Neoproterozoico. Ainda muito discutida, a idade e o contexto tectônico dessas intrusões são relacionadas com a Orogenia Búzios. Alguns autores interpretam como intrusões basálticas do evento magmático do Paleoproterozoico, portanto ainda relacionados à história de formação do embasamento (Schmitt *et al.*, 2004, Viana *et al.*, 2008). Outros argumentam que os corpos anfibolíticos do tipo N-MORB representariam um magmatismo neoproterozóico (640 Ma) correlatos a formação de crosta oceânica onde depositaram os sedimentos que geraram a Grupo Búzios-Palmital (Schmitt *et al.*, 2016).

Por fim, a área ficou novamente ativa tectonicamente durante o Cretáceo. A quebra do Gondwana para posterior abertura do Atlântico deu origem a diques de

diabásio transicionais de composição basáltica toleítica, denominados enxame de diques da Serra do Mar (Figura 7 - Schmitt *et al.*, 2016).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. GEOLOGIA DA ÁREA

Na área deste estudo foram mapeados dez litotipos na escala 1:10.500 (Figura 7), agrupados por idade em: embasamento (ortognaisses paleoproterozoicos), sequência supracrustal (paragnaisses e granulitos máficos do Neoproterozoico) e intrusivas máficas (anfibolitos do Neoproterozoico e diabásios do Cretáceo).

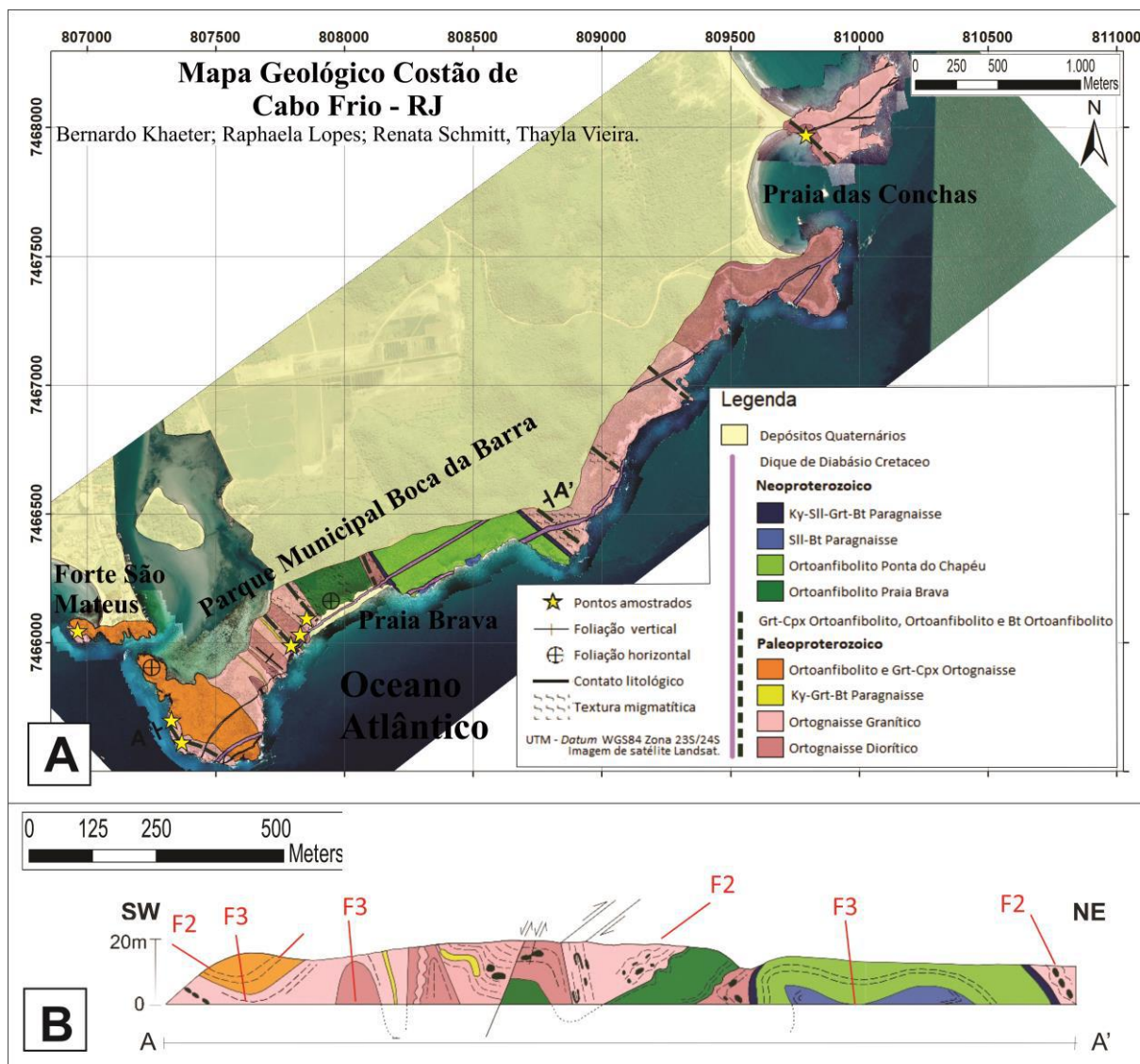


Figura 7: (A) Mapa Geológico da Seção Forte São Mateus – Praia das Conchas. (B) Seção geológica esquemática. Modificado de Vieira *et al.*, 2020.

O embasamento é formado por ortognaisses graníticos e dioríticos (Figuras 8A e 8 B). Os ortognaisses graníticos tem granulação fina a média, equigranulares, com textura seriada localmente porfirítica, com fenocristais em torno de 5

centímetros. São compostos por plagioclásio (35-40%), quartzo (20-25%), biotita (8-15%), hornblenda (5-7%) e microclina (18-13%) como fenocristal. Já o ortogneisse diorítico tem em sua composição plagioclásio (45-50%), hornblenda (20-25%), k-feldspato (8-10%), quartzo (6-8%) e biotita (6-10%). Também tem granulação fina a média, porém a foliação é homogênea e atribui textura nematoblástica.

Nos domínios de maior strain, próximo aos corpos máficos mais espessos, os a textura dos gnaisses graníticos torna-se milonítica. Nessas zonas há recristalização do feldspato da encaixante com sobrecrescimentos que mostram indicativo cinemático. Localmente ocorre fusão parcial dessas rochas, principalmente o ortogneisse diorítico. Nos domínios migmatíticos os veios leucossomáticos ocorrem tanto paralelizados a foliação da rocha como nos planos axiais das dobras F2 e F3, atribuem textura estromática ou ptigmática. Poucos são os domínios sem migmatização e com menor *strain* (porção oeste da seção geológica da Figura 7). Neste local, estruturas primárias ígneas estão preservadas, tais como fenocristais euédricos/subédricos de feldspato potássico, entre outras (Figura 8D).

Uma lente métrica de cianita-granada-biotita paragneisse foi identificada dentro destas rochas ácidas/intermediárias contendo quartzo (35%), biotita (20%), granada como porfiroblasto (20%), feldspato potássico (15%) e cianita (8%). Essa paraderivada tem textura bandada e localmente, em porções fundidas migmatizadas, texturas do tipo oftálmica e schilieren.

Além disso, há o corpo máfico paleoproterozoico mapeado no Forte São Matheus que possui no mínimo 50 metros de espessura. Compreende ortoanfibolitos e Grt-Cpx ortogneisses (Schmitt et al., 2016) com bandamento centimétrico entre níveis ricos em clinopiroxênio, granada e hornblenda, e níveis de hornblenda e plagioclásio. Estão em contato tectônico com os ortogneisses do embasamento marcado por uma zona de alto strain com fusão parcial in situ e truncamento da foliação entre as unidades.





Figura 8: Rochas que afloram no mapa geológico da área de estudo (Figura 7). (A) ortogneisse granítico porfirítico em domínio de menor deformação; (B) ortogneisse diorítico migmatizado cortado por zona de cisalhamento; (C) ortogneisse diorítico com veios leucossoma paralelos e a foliação



evidenciando charneira de dobra com eixo mergulhando para NE; (D) porfiroclasto do tipo *augen* com fenocristal de feldspato potássico rotacionado preservado no núcleo; (E) contato tectônico entre porção ácida e básica do embasamento paleoproterozoico preenchida por leucossoma feldspático; (F) corpo máfico Praia Brava em porção migmatítica com textura estromática e bandamento composicional; (G) lente de sill-bt gnaiss; (H) lente de ky-sill-grt-bt gnaiss.

A sequência supracrustal ocorre no núcleo de uma antiformal no centro da secção geológica da área, tectonicamente invertido sob o embasamento ortognaissico (Figura 7B). Constituem rochas máficas anfibolíticas ortoderivadas (Ortoanfíbilito Praia Brava e Ponta do Chapéu) e camadas de cianita-silimanita-granada-biotita paragnaisse e silimanita-biotita paragnaisse intercalados com rochas calcissilicáticas (Figura 8 F e G), correlacionados regionalmente à Sucessão Búzios do Neoproterozóico (Capistrano et al., 2020). O corpo máfico Praia Brava é marcado por bandamento composicional, localmente migmatítico com textura do tipo schollen (Figura 8 F), enquanto que o corpo Ponta do Chapéu é homogêneo e possui menor fusão parcial disseminada.

A foliação tectônica registrada nas rochas da área tem direção principal NW-SE com mergulho moderado a alto (45-90°). Há pelo menos duas fases de dobramento, marcadas por dobras isoclinais subverticais (F3) e dobras recumbentes (F2) – Figuras 9D e 8C respectivamente. Veios leucosomáticos cortam o embasamento e estão presentes em ambas as fases deformacionais, dobrados em F2 ou paralelos ao plano axial de F2 e F3.

As intrusivas máficas incluem granada-clinopiroxênio ortoanfíbilitos, ortoanfíbilitos e biotita ortoanfíbilitos, descritos no item 4.2. Além de diques de diabásio que afloram paralelamente à linha de costa NE-SW, recortando todas as unidades metamórficas, sendo correlacionáveis ao Enxame de Diques Serra do Mar, do Cretáceo (Figura 7A).

#### 4.2. CORPOS MÁFICOS INTRUSIVOS (SUÍTE JOSÉ GONÇALVES)

Dentro dos ortognaisses do embasamento ocorrem diversos corpos máficos com espessuras de até 3 metros que formam a Suíte José Gonçalves. Essa Suíte compreende granada-clinopiroxênio ortoanfíbilitos com textura granoblástica e, ortoanfíbilitos e biotita ortoanfíbilitos de textura nematoblástica. No geral, tem granulação fina a média, composição predominantemente formada por anfibólio e plagioclásio, podendo conter também piroxênio, granada, biotita e quartzo na mineralogia principal. Minerais acessórios são dificilmente identificados à lupa. Apresenta foliação principal NW-SE concordante com o embasamento. Os cristais

de hornblenda estão orientados paralelamente à lineação de estiramento NW-SE de feldspato potássico e quartzo nos ortognaisses do embasamento (Figura 10C).

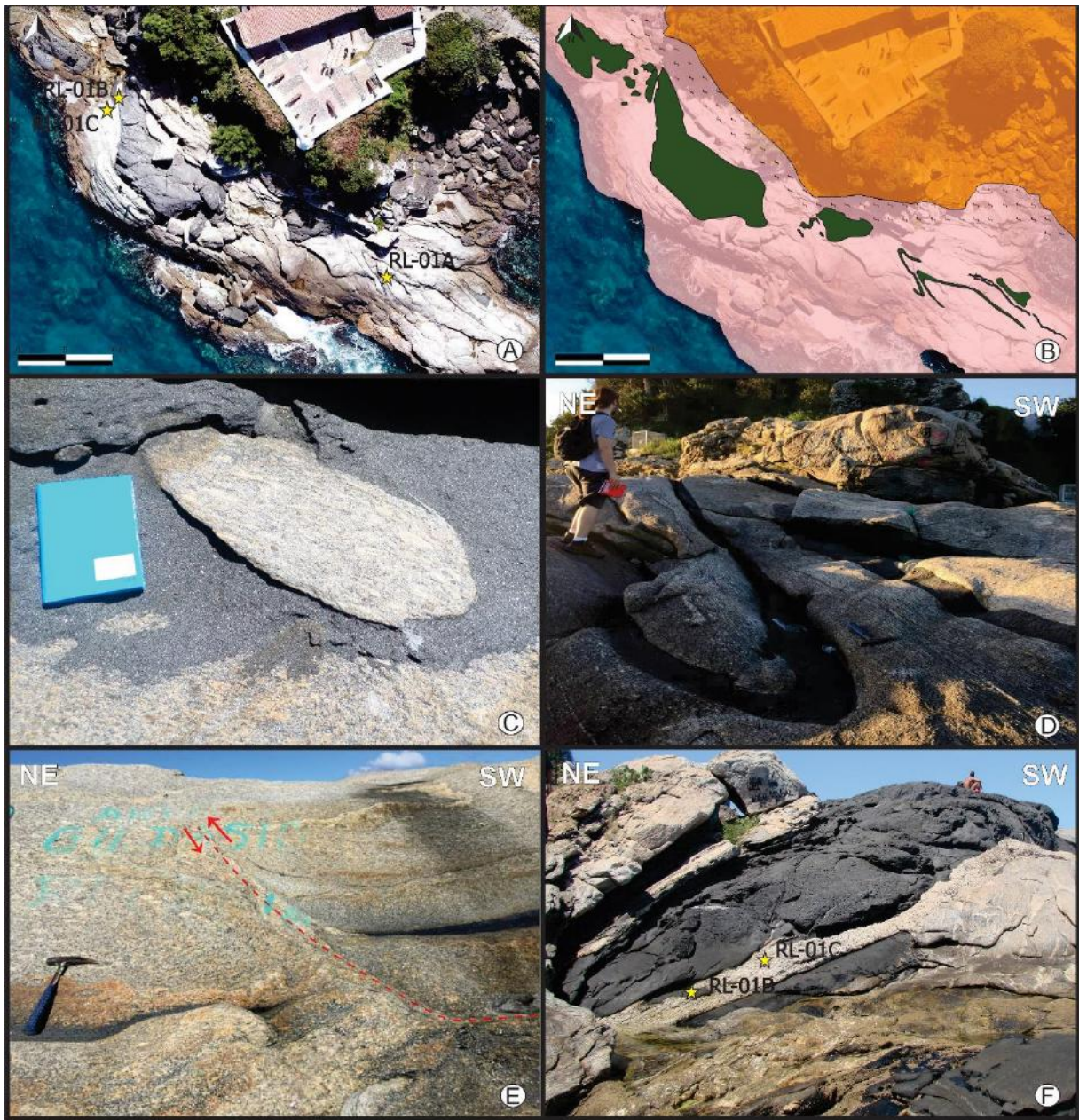


Figura 9: Ponto de interesse RL-01. (A) imagem de VANT de alta resolução do Forte São Mateus com pontos de coleta de amostras destacados com ★. Nota-se a deformação dos corpos máficos e a migmatização do embasamento (em rosa) no contato tectônico com o ortoanfibolito paleoproterozóico (em laranja); (B) croqui de detalhe do Forte São Mateus com corpos máficos da Suíte José Gonçalves em forma de bolsões e paleodiques evidenciando dobras fechadas; (C) xenólito de ortognaisse granítico dentro de paleodique máfico; (D) paleodiques de ortoanfibolito deformados formando dobras isoclinais reclinadas; (E) paleodique ortoanfibolítico cortado por zona de cisalhamento com movimentação sinistral; (F) *megaboudin* de ortoanfibolito cortado por veio de pegmatito (pontos de coleta de amostras destacados com ★).

Os corpos tem geometria tabular na maioria das vezes, variando de 5 centímetros até 5 metros (Figura 10 A e B). De outro modo, por vezes aparecem em forma de bolsões com diâmetro de até 20 metros em sua maior extensão (Figura 9 A



e B). A geometria dos corpos e seu grande contraste composicional com a encaixante facilitou a confecção dos croquis de detalhe, permitindo acompanhar a deformação a que foram submetidos. A Suíte intrude o embasamento ortognaissico orosiriano, porém não intrude as unidades litoestratigráficas supracrustais do Neoproterozoico.

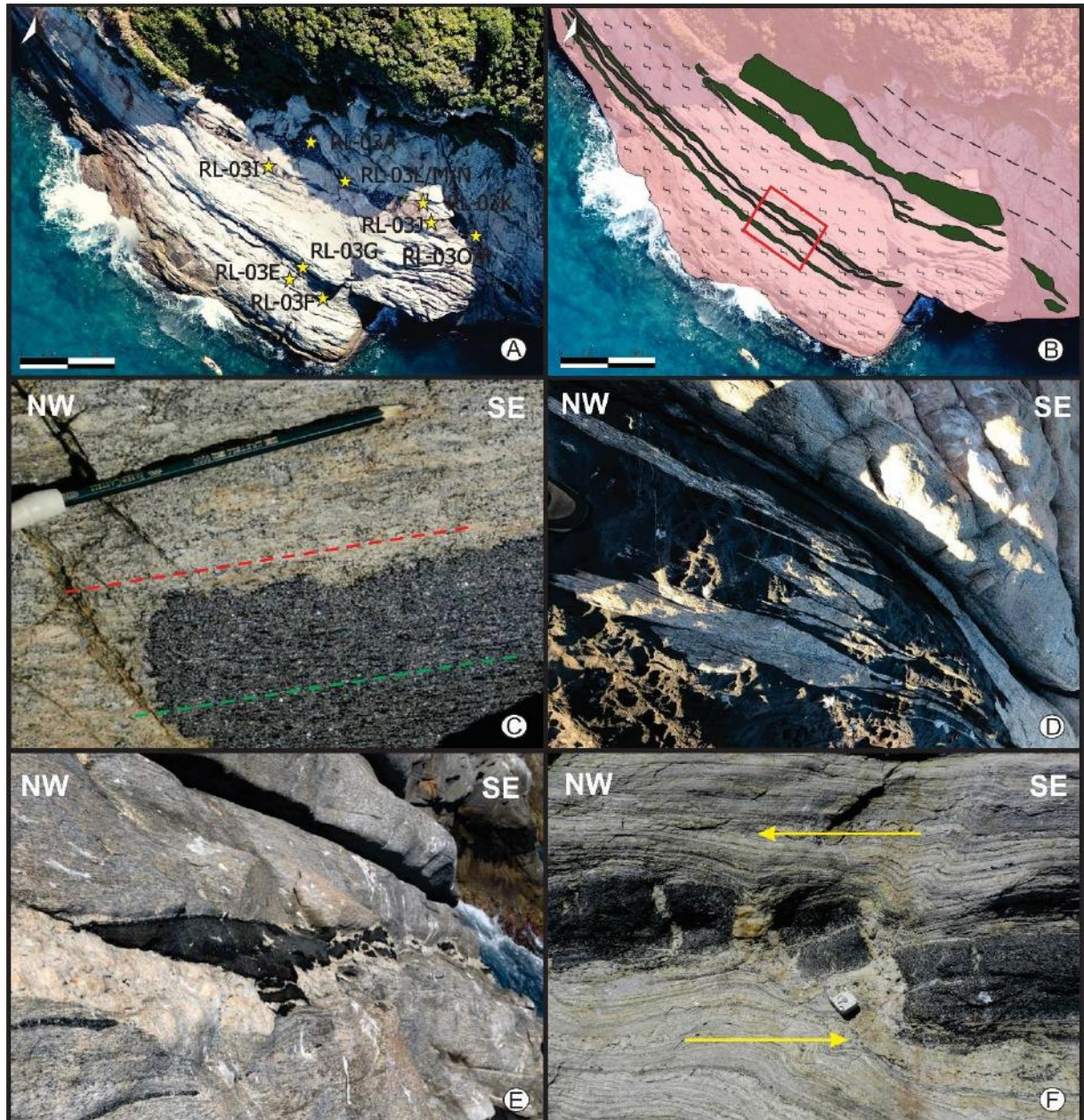


Figura 10: Ponto de interesse RL-03. (A) imagem de VANT de alta resolução do afloramento RL-03 no Costão do Parque Municipal Boca da Barra, com ★ estão destacados os pontos de coleta de amostras; (B) croqui de detalhe do polígono de A com região da Figura 10F delimitada em vermelho; (C) lineação mineral e de estiramento do ortognaisse granítico e do ortoanfibolito José Gonçalves paralelas; (D) xenólitos de ortognaisse granítico estirado em conjunto com o paleodique máfico; (E) paleodique de ortoanfibolito *boudinado* e migmatizado, com leucossoma concentrado principalmente nos *necks* dos *boudins*; (F) porção inferior do afloramento RL-03 (demarcada em vermelho na Figura B) com alto grau de migmatização, o escalonamento de *boudins* indica um movimento de cinemática transcorrente sinistral.



Localmente sofre fusão parcial, gerando veios leucocráticos ricos em plagioclásio e quartzo são interpretados como leucossomas. Podem permanecer *in situ* ou ocorrem também cortando os anfibolitos, provavelmente associados à migração deste *melt*. Além dos leucossomas da própria rocha, veios de fusão do embasamento ortognaissico também cortam os corpos máficos da Suíte. A fusão parcial ocorre principalmente nos domínios de maior deformação, como no ponto RL-03 por exemplo, nas proximidades com zonas de cisalhamento. Esses veios também ocorrem nos *necks* dos corpos máficos boudinados (Figura 10E). Nesses domínios migmatíticos não é possível observar a relação primária entre dique e embasamento, eles estão paralelizados e fundidos parcialmente (Figura 10F).

A deformação principal mapeada é concordante ao movimento de geração das zonas de cisalhamento NW-SE que cortam a área. A foliação metamórfica é penetrativa e paralela à foliação dos ortognaisses (Figura 11C). Podem estar dobrados isoclinalmente (Figura 9D) e boudinados ao longo dos flancos das dobras (Figura 9 A e B), podendo formar estruturas do tipo *pinch and swell*.

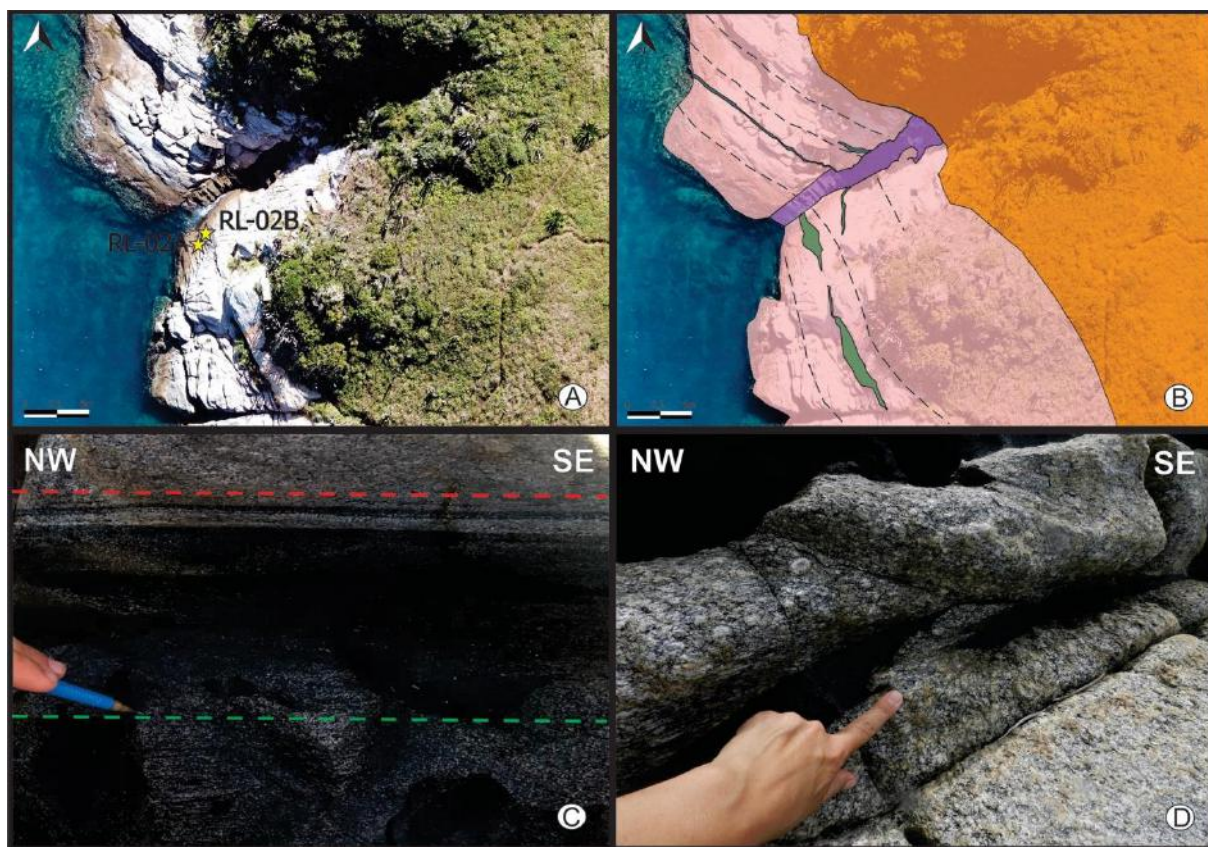


Figura 11: Ponto de interesse RL-02. (A) imagem de VANT de alta resolução do afloramento RL-02 no Costão do Parque Municipal Boca da Barra, com ★ estão destacados os pontos de coleta de amostras; (B) croqui de detalhe do polígono semelhante a Figura 23A; (C) foliação penetrativa dos paleodiques José Gonçalves concordante com a da encaixante gnáissica; (D) estrutura corta-corta ígnea em ponto preservada indicando relação de intrusão.

Seu contato com as encaixantes é predominantemente retilíneo. Nos domínios de menor deformação, estão conservados como paleodiques máficos (Figura 15A) mostram estruturas de corta-corta com relação aos ortognaisses, tais como pontes e ramificações (Figura 11D). Portanto, localmente tem caráter discordante. Também são visíveis feições de regime dúctil como cúspides e zonas de borda entre encaixante e embasamento. Ocorrem ainda enclaves dos ortognaisses nos diques, que podem ser interpretados como xenólitos (Figura 9C e 10D), o que não ocorre ao contrário.

#### 4.3. DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA E QUÍMICA MINERAL

Os anfibolitos da Suíte José Gonçalves têm granulação fina a média, com textura granoblástica a nematoblástica. A variação é definida pela relação núcleo-borda do paleodique, onde o núcleo é mais grosso e granoblástico, com cristais de faces bem formadas e contatos poligonais entre eles (Figura 12A), enquanto que a borda mais fina e nematoblástica, evidenciada pelos cristais alongados de anfibólio (Figura 13A). A mineralogia essencial é hornblenda (pargasita), plagioclásio (andesina, oligoclásio e albita), diopsídio, granada (almandina), biotita e quartzo. Já dentre os minerais acessórios destacam-se: ilmenita e magnetita, rutilo, apatita, titanita e zircão. Sericita, clorita e epidoto aparecem como minerais secundários.

A química mineral serviu de aliada para petrografia de detalhe na determinação da composição mineralógica das soluções sólidas presentes e posterior determinação das paragêneses minerais. Foram analisadas três lâminas delgadas, comparando a variação da composição dos minerais entre elas. Ambos os exemplares foram coletados no afloramento RL-07 (Figura 10), no costão do Parque Municipal Boca da Barra, na proximidade com uma zona de cisalhamento. Foram amostrados núcleo (RL-07J) e borda (RL-07K) de um mesmo corpo com espessura de cerca de 3 metros, sem migmatização. Já RL-07E representa um corpo de menor espessura (30 cm) em um domínio migmatizado (ver Figura 10).

A composição mineralógica e as texturas e microestruturas encontradas nas 17 lâminas descritas foram bastante heterogêneas (Apêndice I). As diferenças ocorrem relacionadas com o local de amostragem. Sendo assim, os corpos máficos ortoanfibolíticos foram agrupados em três domínios descritos separadamente:

- (I) Domínios de baixo *strain* e fusão parcial (granada-clinopiroxênio ortoanfibolitos)

- (II) Domínios de alto *strain* (ortoanfibolitos)
- (III) Domínios migmatíticos (biotita ortoanfibolitos)

#### 4.3.1. Domínios de baixo *strain* e fusão parcial (I)

Nos domínios com menor *strain*, com baixa ou nenhuma proporção de fusão parcial, assim como nos núcleos dos corpos metamáficos mais espessos, a paragénese almandina+diopsídio±hornblenda+andesina+quartzo aparece localmente preservada em equilíbrio (Figuras 12 A e B). Ilmenita, magnetita e rutilo são os minerais acessórios mais presentes.

Nesses domínios os cristais são granulares, euédricos, tem granulação fina (0,10-0,15mm) e contatos poligonais com junções tríplexes, típica textura de *annealing*, resultado da recristalização estática.

O diopsídio é total ou parcialmente substituído por hornblenda. Texturas de desequilíbrio ocorrem tais como cristais de hornblenda crescem incluindo cristais de apatita granulares (Figura 12C), ficando com maior granulação (cerca de 0,5mm) em comparação com o diopsídio (0,2 mm). Em alguns casos é possível observar cristais reliquias de diopsídio substituídos por hornblenda com nicóis cruzados, onde a cor de interferência do piroxênio ainda é mantida apesar do hábito e cor já modificados (Figura 12D). A hornblenda nessa assembleia é majoritariamente retrometamórfica.

Diopsídio (66-70%), granada (alm 84-90%; gr 5-10% py 4-6%; sps <0,01%) e andesina (An 49-58%) têm contatos retos entre si, demonstrando equilíbrio entre as fases. O plagioclásio possui o núcleo levemente mais enriquecido em sódio. Já a granada tem o núcleo mais enriquecido em magnésio que a borda.

Titanita e apatita são raras ou inexistentes. O mineral acessório mais presente é o rutilo, que aparece associado à ilmenita (Figura 12F) ou incluso em granada (Figura 12E).

A associação mineral almandina+diopsídio±hornblenda+andesina+quartzo descreve uma assembleia de fácies Granulito de alta pressão (Figura 20).



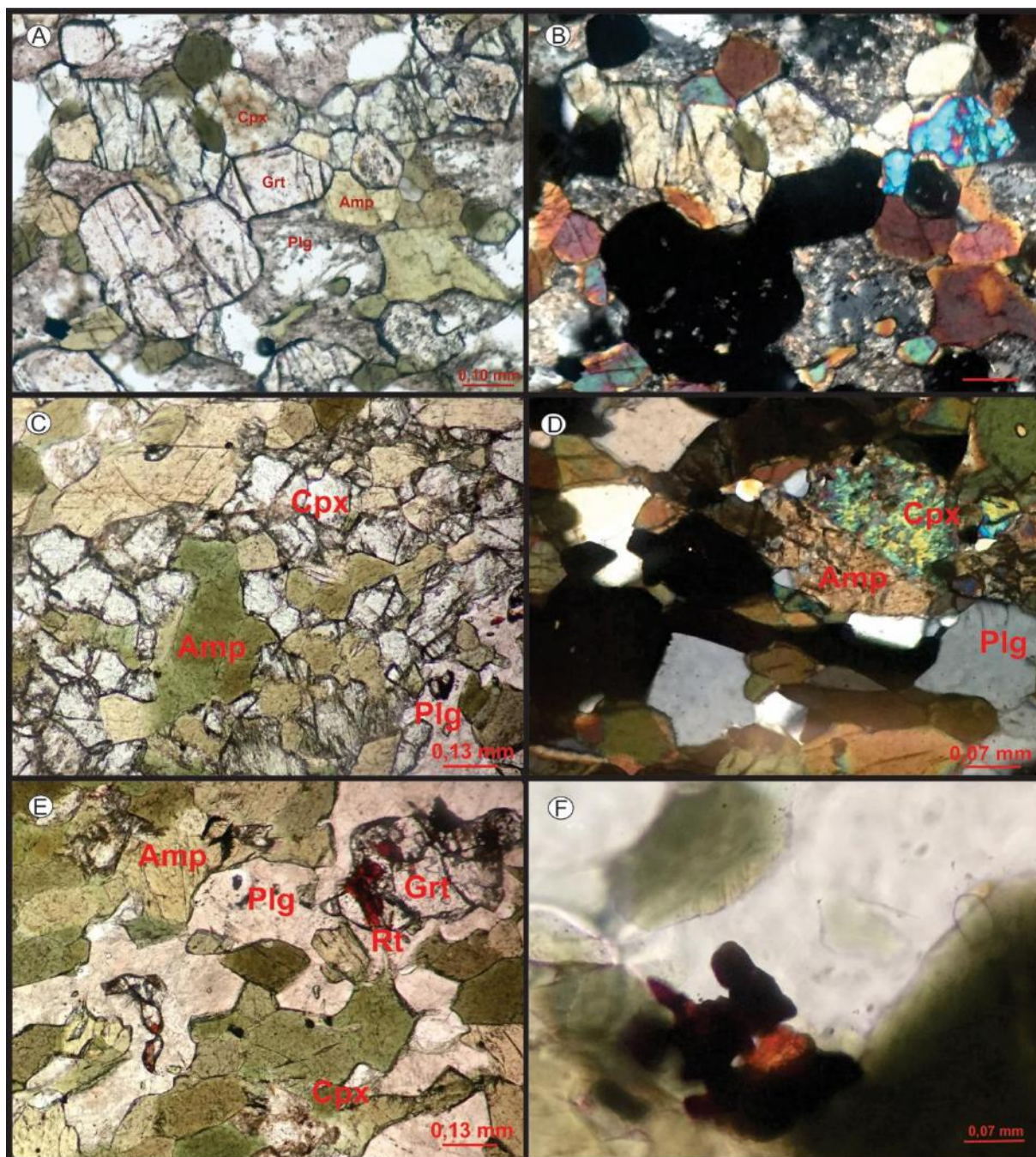


Figura 12: Imagens em microscópio binocular de luz refletida para lâminas de ortoanfibolito nos domínios de baixo strain com paragéne mineral da fácies granulito preservada. (A) e (B) mostram respectivamente a luz natural e polarizada a paragéne de pico metamórfico em equilíbrio com cristais euédricos formando contatos poligonais com junções triplíces e textura do tipo *annealing* ;(C) cristais granulares com faces poligonais de diopsídio sendo substituídos por hornblenda; (D) cristal de diopsídio substituído parcialmente por hornblenda, a nicóis cruzados a cor de interferência do piroxênio de mantém preservada ;(E) rutilo incluído em granada;(F) rutilo associado a opaco.

#### 4.3.2. Domínios de alto *strain* (II)

Representa o maior número de exemplares (12 lâminas, descritas como Ortoanfibolitos – consultar Tabela 1) e foram amostradas em domínios de moderado a alto *strain* com baixa taxa de fusão parcial. A granulação é fina (0,5mm) e a textura é nematoblática marcada pelo alinhamento dos cristais de anfibólio predominam

(Figura 13 A e B). A maior parte dos cristais são euédricos, fazendo com que os contatos entre os grãos sejam poligonais. A mineralogia essencial dessas rochas é composta por anfibólio, plagioclásio, podendo ou não conter clinopiroxênio, e titanita, apatita, rutilo, minerais opacos e zircão aparecem como acessórios.

A hornblenda aparece na forma de cristais tabulares com hábito prismático e tamanho em torno de 0,4mm, que podem estar por vezes estirados. A cor varia entre tons médios de verde até verde escuro (Figura 13 A e B). Apresenta série de fraturas que normalmente seguem a direção de clivagem no mineral, exibindo um padrão 60-120° (Figura 13F).

O plagioclásio (An 55-58%) também é tabular e prismático e segue a moda de tamanho dos anfibólios. Altera para sericita. O equilíbrio entre hornblenda e plagioclásio é demonstrado por contatos retos e junções poligonais.

Por sua vez, o diopsídio é raro. Quando presente está em desequilíbrio, sendo substituído parcialmente ou totalmente por hornblenda, com a reação começando a ocorrer pelas fraturas e contatos dos grãos. Tem cor variando de verde oliva a acastanhado.

Rutilo e titanita aparecem normalmente associados as bordas dos minerais opacos (Figura 13E), sugerindo que se trata de ilmenita. A titanita pode aparecer ou limitando as faces ou inclusa em hornblenda, no último caso há formação de coronas exsolvidas de plagioclásio, configurando desequilíbrio e sugerindo metamorfismo retrógrado (Figura 13F). Há ainda apatita ocorrendo com hábito granular disperso nos contatos entre os cristais (Figura 13D) ou incluso em hornblenda poiquilítica.

Pontualmente em algumas dessas lâminas há a substituição parcial de hornblenda para biotita (Figura 13D), reação que acontece com maior intensidade nas rochas do grupo (III) de amostras.

A associação hornblenda+andesina classifica o metamorfismo dessa rocha como em fácies Anfibolito.





Figura 13: Imagens em microscópio binocular de luz refletida para lâminas de ortoanfibolito nos domínios de alto strain, onde a paragênese mineral da fácies anfibolito está mais preservada. (A) e (B) respectivamente a luz natural e polarizada mostrando em visão geral a paragênese de fácies anfibolito com cristais de hornblenda alongados atribuindo textura nematoblástica; (C) diopsídio sendo substituído por hornblenda a partir de suas fraturas; (D) cristais de titanita incluídos em hornblenda e substituição deste mineral por biotita rica em ferro; (E) textura em corona formada por exolução de titanita ao redor de ilmenita; (F) textura em corona formada por plagioclásio ao redor de titanita incluída em hornblenda.

#### 4.3.3. Domínios migmatíticos (III)

Esse conjunto representa rochas amostradas em domínios migmatíticos ou em contato com veios leucossomáticos. O anfibólio é verde e tabular assim como no grupo (II), porém com maior granulação, cerca de 0,7-0,8 mm. É possível notar a luz



polarizada bordas com cor de interferência mais alta, que foram interpretados como capas de alteração de actinolita retrometamórfica. Também ocorrem parcialmente substituídos por biotita.

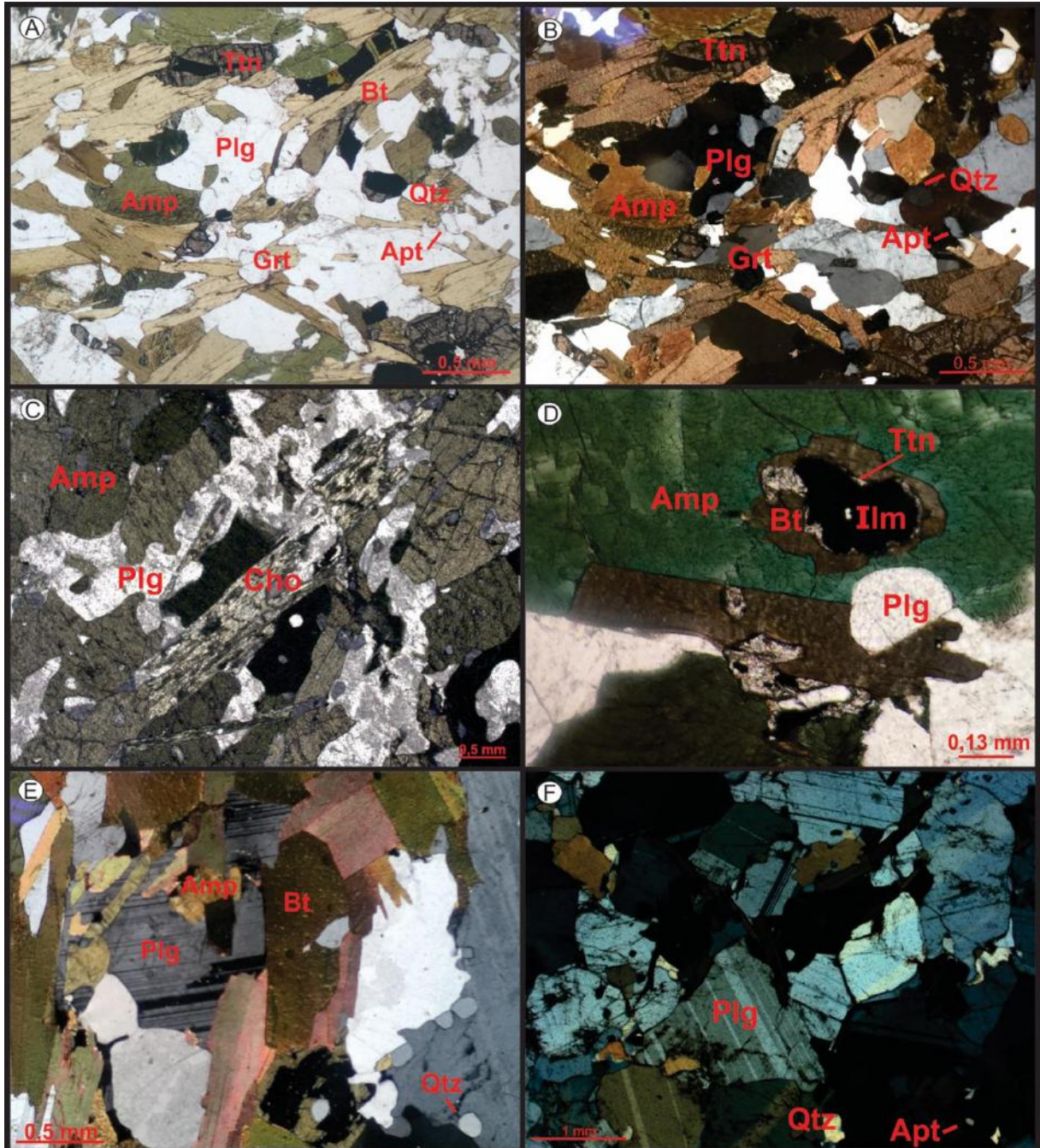


Figura 14: Imagens em microscópio binocular de luz refletida para lâminas de ortoanfibolito com paragênese mineral da fácies xisto verde. (A) e (B) ortoanfibolito com assembléia mineral da xisto verde em zona migmatítica respectivamente a luz natural e polarizada, mostrando plagioclásio, anfibólio, granada, biotita, quartzo, titanita e apatita; (C) cristal polimorfo de clorita substituindo hornblenda; (D) textura em corona de titanita e biotita formada ao redor de inclusão de ilmenita em hornblenda verde; (E) biotitização ocorrendo localmente no contato do ortoanfibolito com veio leucossomático; (F) veio leucossomático composto essencialmente por plagioclásio e quartzo em menor proporção a nicóis cruzados.

Plagioclásio (An 43-47%) está em equilíbrio com a hornblenda. Cristais subédrico a euédrico formam contatos retos e por vezes limitam as faces da hornblenda. Sua composição é a que mais varia em comparação as assembleias I e II descritas nos itens anteriores. O núcleo de alguns cristais tem teores menores de sódio, An 51% e An 58%.

Ocorre o crescimento de titanita associada a minerais opacos (Figura 14D). Forma contatos retos com a biotita, demonstrando equilíbrio. Durante a substituição os cristais podem manter a orientação preferencial do anfibólio, mas também crescem segundo um plano de cisalhamento (Figura 14A) – feição mais expressiva no ponto RL-03, em proximidade com uma zona de cisalhamento (Figura 10F). Ocorre ainda crescimento de clorita (Figura 14C), sem preservar uma orientação preferencial.

A rocha também apresenta quartzo e apatita com hábito granular, incolores e límpidos (Figura 14 E). A apatita aparece também inclusa na hornblenda gerando textura poiquilítica (Figura 14 B).

Chama atenção a textura em dupla corona mostrada na figura 14 D, onde a exolução de titanita a partir da ilmenita está associada com a substituição de hornblenda para biotita. Nesses casos os cristais são euédricos com faces poligonais bem definidas.

A assembleia mineral clorita+actinolita+hornblenda+oligoclásio+epidoto caracterizam metamorfismo na fácies Xisto Verde.

#### 4.4. DADOS GEOCRONOLÓGICOS U-Pb



Figura 15: Locais de coleta de amostra para geocronologia. (A) Afloramento RL-02. Paleodique de ortoanfibolito, pouco deformado e preservado de fusão parcial; (B) Boudin de ortoanfibolito em domínio de alto *strain* e taxa fusão parcial.



Para geocronologia duas amostras foram selecionadas. Uma delas, RL-02, foi coletada no costão do Parque Municipal Boca da Barra, de um paleodique em domínio de baixo *strain* sem evidência de fusão parcial. Já RL-07A é uma amostra de um *boudin* em domínio migmatítico na Praia das Conchas (Figura 15).

As análises U-Pb realizadas em núcleo e borda de grão de zircão permitiram obter idades de cristalização e metamorfismo. Foi usado como padrão de distinção além das características morfológicas observadas em lupa, as estruturas internas do zircão observadas nas imagens de catodoluminescência e ainda as razões Th/U. De uma maneira geral, as razões maiores que 0.1 são relacionadas à origem ígnea, enquanto que entre 0.01 e 0.1 atribuídas a grãos metamórficos (Kirkland et al., 2015; Rubatto et al., 2017).

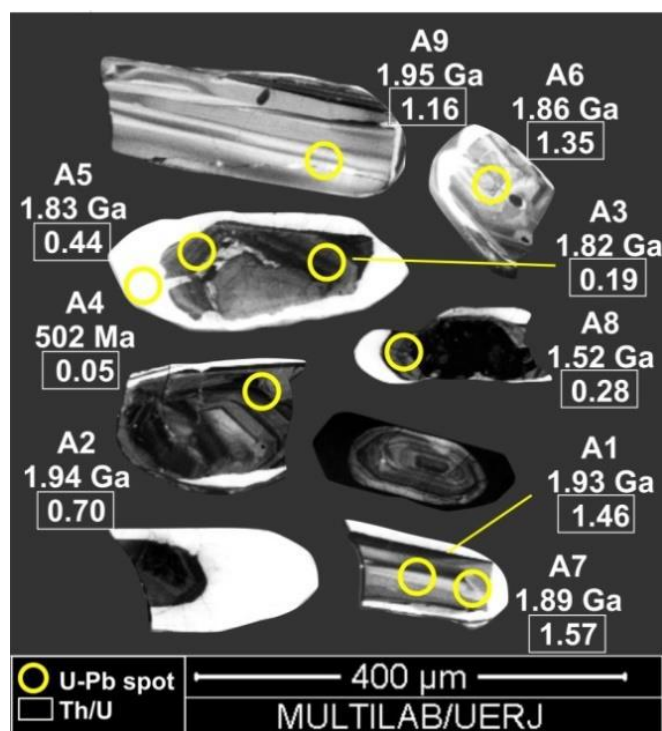


Figura 16: Imagem de catodoluminescência dos grãos de zircão do exemplar RL-07A. Destacados os *spots* de análise e suas respectivas idades U-Pb e razões Th/U.

Por ser uma rocha básica, poucos grãos de zircão foram selecionados. Esses grãos são na sua maioria subédricos, entretanto por vezes aparecem euédricos com todas as faces poligonais preservadas ou com todas as faces arredondadas tornando o hábito granular. Foi possível constatar que os grãos mais arredondados normalmente eram aqueles que possuíam bordas metamórficas. São incolores podendo variar entre tons levemente amarronzados e rosados, tem brilho resinoso,

boa cristalinidade e moderado grau de faturamento. O tamanho varia entre 150 – 350 micrometros.

No exemplar RL-07A, o núcleo dos oito cristais imageados mostra zonamento oscilatório composicional típico de crescimento ígneo (Figura). Sete análises pontuais nestes domínios forneceram tem idades Pb/Pb orosirianas, entre 1.52 – 1.95 Ga, semelhantes aos ortognaisses do embasamento. Foram identificadas também bordas brancas espessas em alguns destes grãos (Figura 16). Como essa amostra foi analisada através da técnica de LA-ICP-MS, apenas uma delas foi datada fornecendo a idade de 502 Ga (*Spot* A4 FIGURA 16). A razão Th/U abaixo de 0,1 e a morfologia na imagem de catodoluminescência permitem interpretar essa borda como de sobrecrecimento metamórfico.

As elipses se alinham numa discórdia com intercepto superior em  $1935 \pm 41$  Ma, interpretado como a idade de cristalização, enquanto que o inferior em  $478 \pm 110$  Ma (Figura 17) indica a idade de metamorfismo. Entretanto, a margem de erro representa quase que 25% da idade proposta, representando baixa confiabilidade. Como apenas uma análise foi realizada em domínio metamórfico (A4 – Figura 16), a idade de 502 Ma foi atribuída ao metamorfismo.

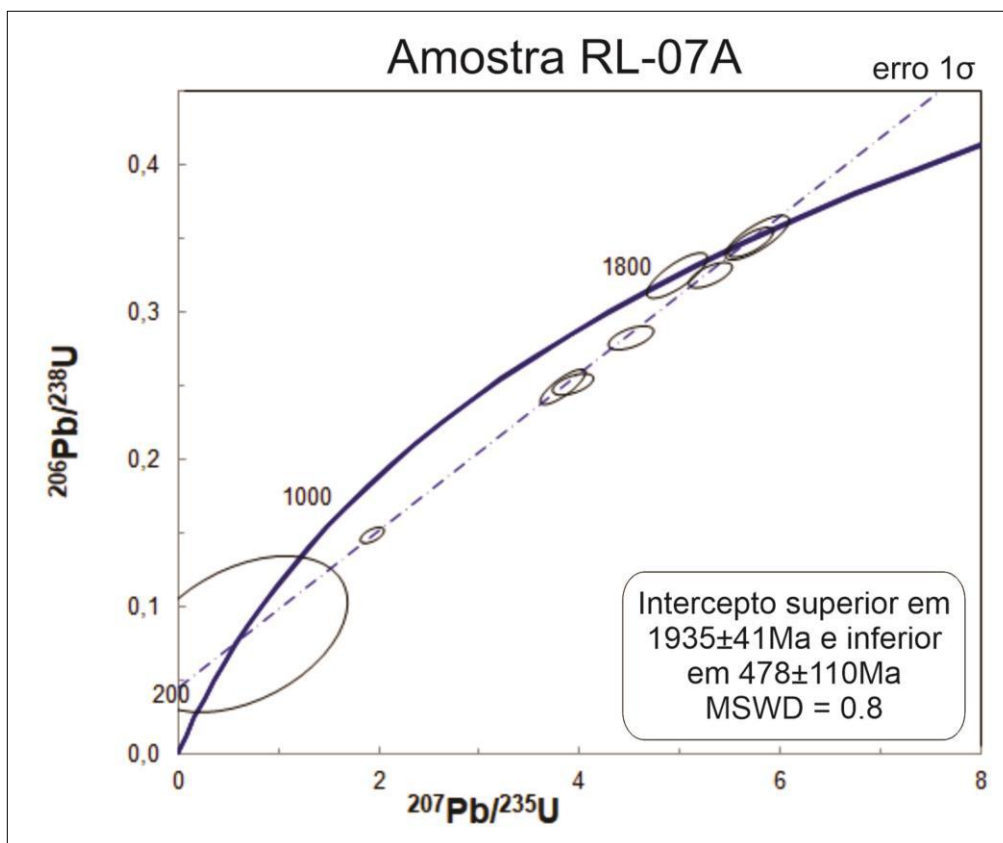


Figura 17: Diagrama da concórdia com as elipses das análises da amostra RL-07A.

Em RL-02A, 11 *spots* foram feitos em cinco grãos com morfologias distintas. Apenas um cristal apresenta o zoneamento oscilatório, tendo fornecido três idades paleoproterozoicas,  $1.84 \pm 0.08$ ,  $1.91 \pm 0.14$  e  $1.95 \pm 0.11$  Ga. Três cristais com zoneamento suave, em tons escuros de cinza e zonas sombreadas, e razão Th/U maior que 0,1 apresentaram idades  $\text{Pb}^{206}/\text{U}^{238}$  entre  $541 \pm 5$  e  $573 \pm 5$  Ma, do Ediacarano.

Por fim, um zircão euédrico mostra um zonamento setorizado no núcleo, branco com bordas bipiramidais mais escuras com linhas de crescimento oscilatório (grão 2 – Figura 18). Tanto núcleo quanto borda foram analisados e deram idades de 500 Ma (Cambriano). O núcleo tem razão Th/U acima de 0,1 e a borda abaixo deste valor (2.1 – Figura 18) e com razão Th/U entre 0,1 e 0,01. Essa textura poderia ser interpretada como cristalização e metamorfismo, respectivamente, a partir de um *melt* metamórfico.

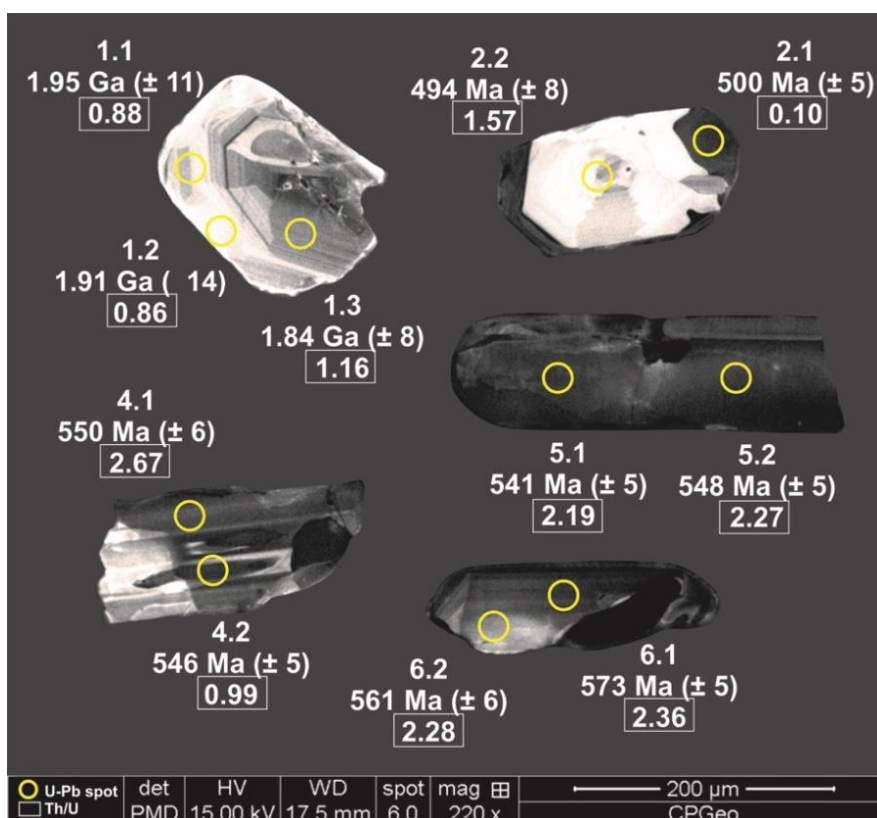


Figura 18: Imagem de catodoluminescência dos grãos de zircão do exemplar RL-02A. Destacados os *spots* de análise e suas respectivas idades U-Pb e razões Th/U.

No diagrama da concórdia U-Pb construído para o exemplar RL-02A (Figura 19), as elipses plotam próximas ao intercepto inferior, diferentemente da amostra anterior. A linha de discórdia aponta para um intercepto superior em  $1976 \pm 16$  Ma.

O intercepto inferior é mais preciso, fornecendo a idade de cristalização  $547.7 \pm 8.7$  Ma. Também foi calculada uma idade concentrada de concórdia apenas com os cristais de zircão ígneos neoproterozoicos, com valor de  $548.9 \pm 4.9$  Ma.

As amostras RL-07A E RL-02A apresentaram resultados discrepantes quanto às idades de cristalização, com uma diferença de 1.4 Ga. Já as idades de metamorfismo são similares, ambas cambrianas (500 Ma).

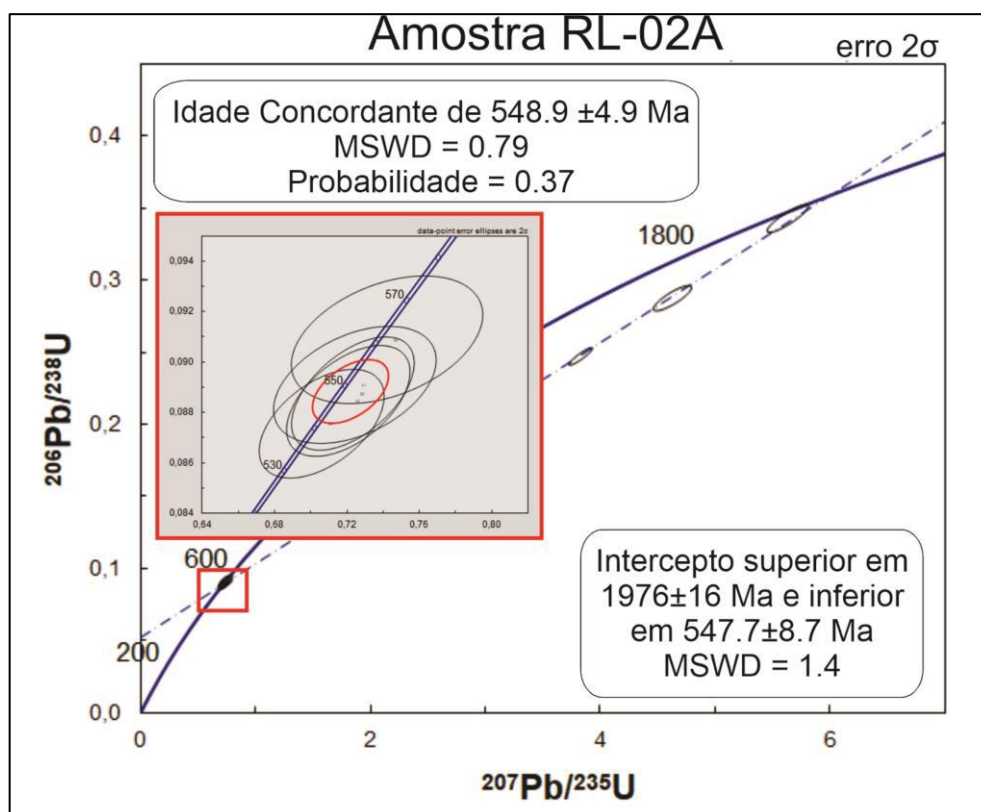


Figura 19: Diagrama da concórdia para o exemplar RL-02A.

## 5. DISCUSSÃO

Os corpos anfibolíticos aqui investigados apresentam evidências da evolução geológica desde sua intrusão como diques basálticos até sua deformação e metamorfismo subsequentes no Cambriano. Além disso, contribuem com o entendimento da evolução tectono-metamórfica da sua encaixante, os ortognaisses félsicos do Paleoproterozoico.

### 5.1. IDADES U-Pb E CONTEXTO TECTONO-MAGMÁTICO

As idades de cristalização obtidas nos grãos de zircão das amostras RL-07A E RL-02A tem diferença de 1.4 Ga. Isso inclui os corpos máficos do embasamento em contextos muito diferentes, levantando algumas possibilidades descritas a seguir.

A primeira hipótese sugere que os exemplares estudados representam rochas básicas paleoproterozoicas do embasamento, contemporâneas ao magmatismo predominantemente granítico do Complexo Região dos Lagos a cerca de 1,99-1,95 Ga (Schmitt *et al.*, 2004, 2009, Riente *et al.*, em prep.). O fato de a amostra RL-07A ter a principal população de cristais de zircão paleoproterozoicos, também de estarem alinhados numa discórdia, próximos ao intercepto superior, corroboraria com esta hipótese. A amostra foi coletada num domínio de alto *strain* e fusão dentro do embasamento (Figura 15B), portanto não é possível inferir com dados de campo a relação primária entre as rochas máficas e os metagranitóides.

Entretanto, isso também implicaria que todos os grãos neoproterozoicos analisados são metamórficos. Em contraponto, a idade concordante de  $548.9 \pm 4.9$  Ma obtida na amostra RL-02A em cristais com razões Th/U inferiores a 0.1 (Figura 18). Além disso, há cristais de zircão com essa idade que possuem zoneamento composicional ígneo – grão 6 da amostra RL-02A por exemplo. As idades do Ediacarano obtidas em RL-02A foram interpretadas como a idade de cristalização do magma básico. Neste caso, o cristal paleoproterozoico seria, portanto, herdado da encaixante.

Assim, a amostra RL-07A não teve nenhum cristal coletado que indica sua idade de cristalização, foi registrada apenas a idade de metamorfismo nas bordas de 500 Ma. O que é plausível, à medida que rochas máficas não possuem grande quantidade de zircônio disponível para a formação do mineral zircão (Fraser *et al.*, 1997; Winter, 2010).

Já na segunda hipótese, esses corpos representariam um magmatismo neoproterozoico. A outra amostra datada (RL-02A) foi obtida no local onde claramente o dique de anfibolito corta o granito do embasamento (Figura 15A). Mesmo assim chama a atenção as estruturas em cúspide do contato, indicando que a diferença de temperatura entre eles é pequena. Isso conspiraria a favor de que ambas são rochas ígneas contemporâneas.

Todavia, esse paleodique de anfibolito apresenta a maior população de zircão do Ediacarano, com morfologia ígnea na catodoluminescência e razões Th/U compatíveis. No digrama da concórdia, plotam numa linha discordante próximos o intercepto inferior. Isto corrobora com a hipótese de que seriam corpos pré a sin-colisionais com relação à Orogenia Búzios. Portanto bem mais jovens do que o

embasamento que intrudem. Desse modo, os grãos de zircão de idade paleoproterozoica analisados (grão 1 amostra RL-02A e núcleos de grãos RL-07A) seriam assimilados da sua encaixante.

O fato de os contatos serem curvos pode remeter para um ambiente sin-colisional, onde esses diques entrariam em níveis crustais mais profundos do que estimados para diques de diabásio em geral. Assim como o aparecimento desses corpos apenas no embasamento e não na sucessão supracrustal.

Há ainda, a possibilidade de que os corpos máficos analisados não correspondem a um mesmo magmatismo, por isso apresentam idades diferentes. Deste modo, a amostra RL-07 seria contemporânea ao embasamento ortognáissico, enquanto que RL-02A relacionada à Orogenia Búzios. Essa é a hipótese mais plausível até então, com base em estudos em paralelo no Domínio Tectônico do Cabo Frio (Capistrano *et al.*, 2020; Riente *et al.* (em prep.).

Magmatismo básico em ambiente sin-colisional pode ter várias origens. Considerando a idade de cristalização para a Suíte José Gonçalves de 550 Ma, uma hipótese para sua fonte seria uma dorsal oceânica ou uma zona de transformancia ainda ativa na zona subducção. Isso explicaria porque esses paleodiques estão metamorfizados em pressões em torno de 10 kbar (Vieira *et al.* (em prep.). Outra hipótese para a origem de rochas básicas em um ambiente pré a sin colisão seria a quebra da crosta oceânica subductada, sofrendo esforços que abriram uma janela de interação com o manto, permitindo a intrusão de magmas do tipo MORB (Schmitt *et al.*, 2016; Capistrano *et al.*, 2020; Rosenbaum *et al.*, 2008).

Apesar da Suíte José Gonçalves ser previamente definida por Schmitt *et al.* (2004) como paleoproterozoica, a ausência de dados geocronológicos robustos fez com que a relação de campo com o embasamento fosse tomada como fator preponderante. Dessa maneira, optou-se por manter o nome da Suíte e adotar a idade neoproterozoica, uma vez que os corpos tem geometria e relação de corte com o embasamento similar à seção tipo na Praia de José Gonçalves, em Búzios (Schmitt *et al.*, 2004).

## 5.2. EVOLUÇÃO TECTONO-METAMÓRFICA

### 5.2.1. Relação com o embasamento

Observando os croquis (Figuras 7 e 9-11) fica evidenciado que os corpos máficos da Suíte afloram normalmente em áreas de proximidade com as zonas de

cisalhamento mapeadas na área (Figura 7), reforçando a ideia de uma interação manto-crosta durante a subdução. A deformação principal mapeada é concordante ao movimento dessas zonas de cisalhamento NW-SE, interpretadas como Cambrianas (Schmitt *et al.*, 2016, Heilbron & Machado, 2003).

Apesar das estruturas primárias preservadas nos contatos em zonas de baixa deformação, a intensa atividade tectono-metamórfica registrada na área faz com que pelo menos duas teorias sejam aventadas. Ou (1) a textura é primária, portanto, o embasamento estava já em temperaturas acima de 500 graus no momento da intrusão (confirmando o proposto em 5.1) ou (2) a textura é secundária, o embasamento deforma mais no contato devido à concentração da deformação nesta descontinuidade pré-existente.

Trabalhos recentes corroboram para a ideia de que as rochas desse segmento da crosta foram submetidas a altas temperaturas (Martins *et al.*, 2016; Vieira *et al.* (em prep.)). A associação mineral de alta pressão descrita, serve de evidência que essas unidades atingiram níveis crustais profundos, suportando a hipótese de Schmitt *et al.* (Schmitt *et al.*, 2008, 2016) de que houve uma subducção cambro-ediacarana para oeste. Sendo assim, o mais provável é que ambas as rochas estavam em altas temperaturas no momento da intrusão.

### **5.2.2. Trajetória *P-T***

A partir das paragêneses definidas na petrografia (I) Almandina+Diopsídio+Hornblenda+Andesina+Quartzo, para domínios de baixo strain, (II)Hornblenda+Andesina, para domínios de alto strain, e (III)Clorita+Actinolita+Hornblenda+Oligoclásio+Epidoto para domínios migmatíticos; a trajetória *P-T* pode ser inferida para os paleodiques básicos (figura 21).

O pico metamórfico foi definido com a associação mineral Almandina+Diopsídio+Hornblenda+Andesina+Quartzo. Todavia, em rochas metamáficas, essa paragênese pode ser estável tanto na fácies anfibolito alto como em fácies granulito de alta pressão, mas provavelmente indica a transição entre as duas (Yardley, 1989).

Apesar da ausência de ortopiroxênio dificultar estabelecer uma temperatura mínima para entrada na fácies granulito (Pattison, 2003), o clinopiroxênio é indicativo de alta pressão, assim como a presença de granada com inclusões de rutilo (Bucher & Frey, 1994; Pattison, 2003). O zonamento composicional da granada, mais rica em



Mg no núcleo do que na borda, indica descompressão. Nesse caso, a mudança de fácies está relacionada ao aumento da temperatura e consequente diminuição da quantidade de hornblenda em proporção com o diopsídio à medida que a rocha se torna anidra (Bucher & Frey, 1994). Essa condição normalmente é atingida próximo de 850 ° C (Bucher & Frey, 1994), e Vieira *et al.* (em prep.) encontrou condições de  $10 \pm 1$  kbar de pressão e temperatura de  $825 \pm 46^\circ$  C usando o THERMOCALC para o pico metamórfico do exemplar RL-02A, o que reforça a fácies metamórfica atingida.

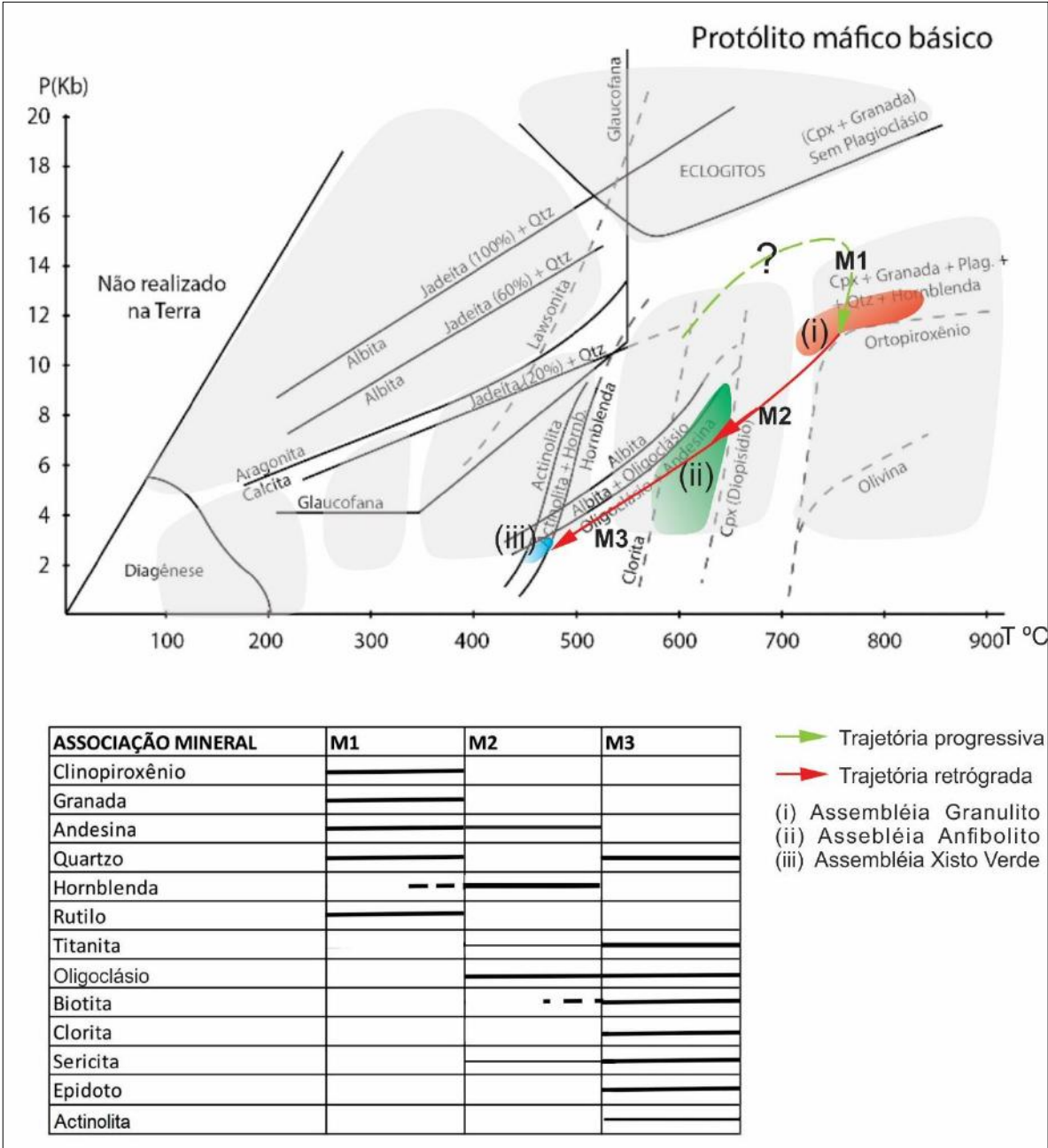


Figura 20: Gráfico de isógradas minerais para evolução metamórfica de rochas com protólito máfico. Indica o trajeto progressivo (em verde) e retrógrado (em vermelho) e os respectivos momentos de crescimento mineral e assembleias metamórficas.



A trajetória retrógrada, por outro lado, é marcada pela substituição do diopsídio para pargasita e o desaparecimento da granada (Bucher & Frey, 1994). Da química mineral, conclui-se que a granada tem mais ferro nas bordas enquanto que o núcleo é mais rico em magnésio. Ao oposto disso, a hornblenda (pargasita) tem as bordas mais enriquecidas em magnésio quando na fácies anfibolito (Figura 21). Sugere-se por tanto uma reação entre granada e hornblenda.

Há diferenças composicionais entre o anfibólio encontrados em cada fácies (Figura 21). A fácies Anfibolito (RL-03K) apresenta maior concentração dos seus *plots*, ou seja, os cristais tem menor variação de composição e apresentam maior equilíbrio com a assembleia. Enquanto que as amostras RL-03J e RL-0E (fácies Granulito e Xisto Verde, respectivamente) tem pontos dispersos. Teores de sódio e magnésio decaem na mudança de fácies Granulito para Anfibolito. Sódio novamente na transição para Xisto Verde. Já cálcio, potássio e manganês têm teores crescentes da fácies Anfibolito para Xisto Verde (Figura 21).

A formação da granada em mais alta pressão aprisiona o Mg e posteriormente, esse elemento será perdido para o anfibólio nas reações retrometamórficas (Yardley *et al.*, 1990; Bucher & Frey, 1994; Winkler, 1974; Rubatto, 2002;). Seria mais uma evidência para determinar os dois momentos de metamorfismo (Figura 20). Outra conclusão que pode ser tirada da petrografia e da química mineral é que mesmo a paragênese de pico, que ainda conserva granada e diopsídio, já passa por reações retrometamórficas (Figura 12A e C). A hornblenda, mesmo nos domínios de baixo *strain*, é majoritariamente retrógrada. O que pode inclusive, ter mascarado uma mais alta temperatura e pressão no cálculo de Vieira *et al.* (em prep.).

Segundo Yardley (1989), na maior parte dos casos, quando ocorrem rochas de fácies anfibolito junto com rochas de fácies granulito, as primeiras são retrógradadas, originárias da infiltração de fluidos e retrabalhamento tardio. A substituição de diopsídio para hornblenda, muito presente nas rochas estudadas, depende justamente da entrada de água na reação (Bucher & Frey, 1994). Isso seria compatível com o fato de que nos domínios de alto *strain* ficou mais evidencia a paragênese (II), retrograda. Outras feições indicam essa transformação em ambiente de descompressão, tais como inclusões de titanita em hornblenda com coronas de plagioclásio e coronas de titanita em ilmenita e rutilo (Yardley *et al.*, 1990).

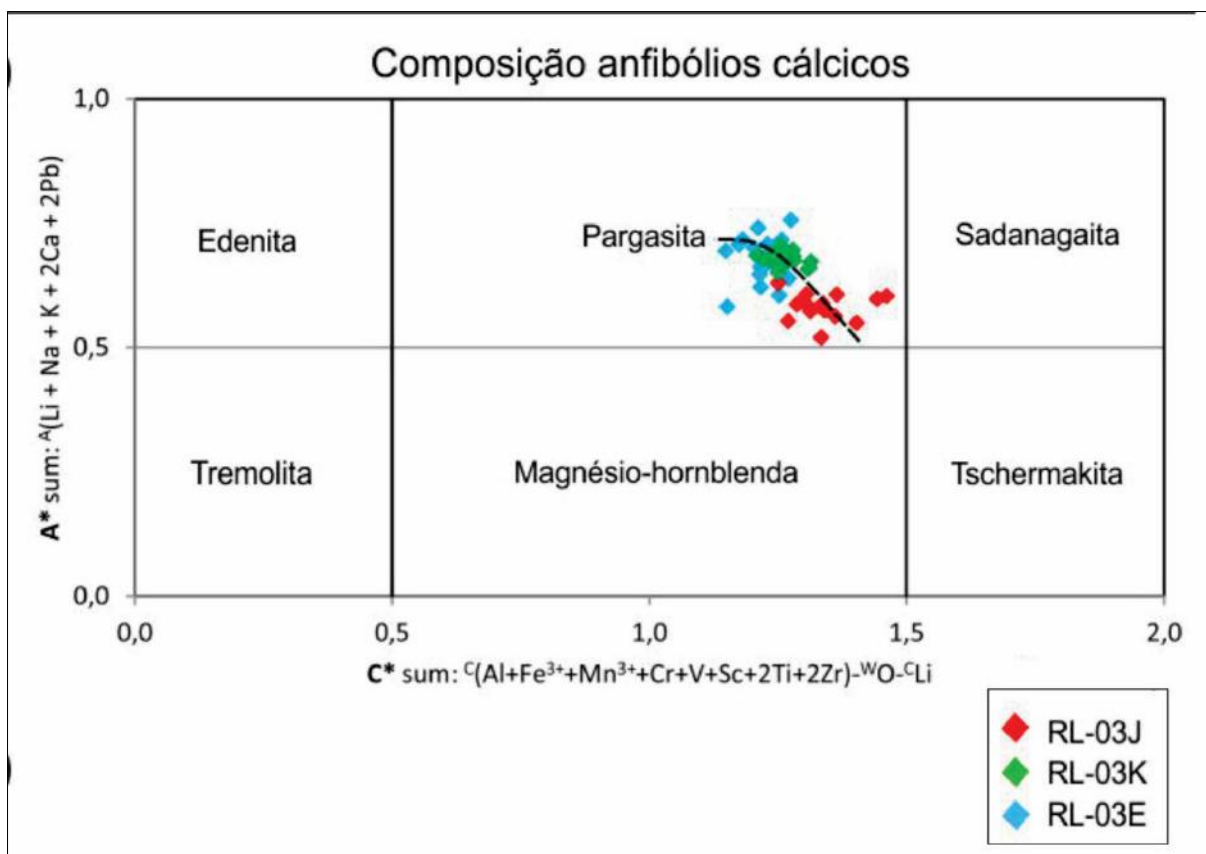


Figura 21: (A) Química mineral dos anfibólios cálcicos das amostras RL-03E em azul (biotita ortoanfibolito metamorfoizado em fácies xisto verde), RL-03K em verde (ortoanfibolito metamorfoizado em fácies anfibolito) e RL-03J em vermelho (granada-clinopiroxênio ortoanfibolito metamorfoizado em fácies granulito).

Na associação de mais baixo grau metamórfico, em condições de xisto verde, a granulação é consideravelmente mais grossa quando comparada com as anteriores (Figuras 12, 13, 14 e Apêndice I). Além disso, os minerais vão sendo substituídos sem preservar uma orientação preferencial. A hornblenda tem sua composição química alterada, com entrada de água e saída de sódio na estrutura do mineral. A química mineral também mostrou que as substituições parciais por actinolita coincidem com o aumento no teor de Si e diminuição no teor de Na (Figura 21 e Apêndice II). A transformação para actinolita envolve saída de Na e entrada de Si na estrutura mineral (Bucher & Frey, 1994; Winkler, 1974).

O equilíbrio da hornblenda na fácies Anfibolito e os teores de sódio, cálcio, potássio e magnésio variando de maneira inversamente proporcional entre essas fases minerais (Figura 21), são evidências que corroboram com a interpretação de que a hornblenda é majoritariamente retrometamórfica e interage com plagioclásio e granada durante as reações retrógradas.

Outro fato importante é que o aumento de titanita e epidoto nesta associação de mais baixo grau. Além disso essas reações retrometamórficas que liberam Ca, Ti, Fe e Si, como por exemplo, gerando a “biotitização” da hornblenda. No campo, observa-se nos domínios migmatíticos que os anfibolitos ficam biotíticos nos contatos com os veios leucossomáticos (Figura 10 F). É o resultado da reidratação dos silicatos ferro magnesianos (Yardley *et al.*, 1990; Winkler, 1974) a partir da interação com fluídos leucossomáticos. Essa interpretação permite definir um terceiro momento de metamorfismo.

### **5.2.3. Timing de crescimento de zircão**

Os cristais de zircão interpretados como ígneos nas duas amostras datadas por vezes mostraram bordas claramente metamórficas, com morfologia, estrutura interna e razão Th/U compatível com essa origem (Figura 16 – cristal A5; Figura 18 – cristal 2, análise 1).

O crescimento de zircão em rochas metamáficas de alto grau depende da quebra de fases minerais que contenham zircônio, o que inclui basicamente granada e hornblenda (Fraser *et al.* 1997). O zircônio pode ser liberado na reação de substituição da hornblenda para diopsídio, marcando o momento progressivo (Fraser *et al.*, 1997). Entretanto, o crescimento de granada nesse estágio aprisiona Zr na estrutura do mineral. Com o retrometamorfismo fazendo o caminho inverso das reações citadas, o Zr retornaria para a hornblenda de alto grau, mas vai sendo aos poucos liberado com a diminuição de pressão e temperatura. A figura 12 mostra no eixo x dos gráficos uma variação composicional que inclui zircônio na composição dos anfibólios em diferentes assembleias minerais e seu decaimento.

Desse modo, só haveria fases livres em zircônio quando reações mudassem a composição do anfibólio. O que pode justificar o maior crescimento de borda em RL-07A (Figura 16). O afloramento de onde foi coletado o exemplar possui veios leucossomáticos e evidências de interação com o fluído. A análise petrográfica desse corpo também indica mudança composicional da hornblenda, que seria similar ao observado em RL-03E tanto em petrografia quando química mineral. Como consequência, a idade de crescimento das bordas metamórficas foi relacionada ao retrometamorfismo em fácies anfibolito pelo qual passou a Suíte, corroborando com o modelo geotectônico proposto por Schmitt *et al.* (2016).

Essas zonas de cisalhamento são reconhecidas por Schmitt *et al.* (2016) como cambrianas e, portanto, correlacionáveis com a idade de metamorfismo de 500 Ma indicada no presente trabalho. A zona de cisalhamento pode ter sido a responsável por diminuir o ponto de fusão das rochas máficas que estavam submetidas à alta pressão e temperatura. A entrada de água e descompressão do sistema levam à fusão parcial (Winkler, 1974; Sial & McReath, 1984; Bucher & Frey, 1994).

## **6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

A Suíte José Gonçalves é caracterizada neste trabalho como granulitos máficos do limite Ediacarano-Cambriano (550 Ma), retrometamorfizados para fácies anfibolito de grau moderado a alto a 500 Ma. A paragênese preservada é majoritariamente retrometamórfica e está orientada segundo o *trend* NW-SE. Por isso, os corpos são descritos como ortoanfibolitos.

A preservação de distintas paragêneses entre núcleo e borda dos corpos, pode estar associada com as variações nas texturas primárias do protólito (paleodique) e como o metamorfismo avança diante da geometria do corpo.

A paragênese de mais alta pressão indica fácies granulito. Ocorre nos domínios menos deformados e sem fusão parcial. Nos domínios de maior *strain* predomina uma paragênese retrometamórfica de fácies anfibolito. A interação com fluidos nas zonas de cisalhamento facilita o desenvolvimento de reações retrógradas nas rochas anidras, reiterando o motivo pelo qual a paragênese de pico metamórfico só está preservada no núcleo dos corpos e zonas com pouco *strain* e fusão parcial.

Essas rochas registram um ciclo progressivo – retrógrado de metamorfismo associado com o evento tectono-metamórfico Búzios (Figura 20).

Localmente apresenta ainda uma paragênese mineral de baixo grau na fácies Xisto Verde. As evidências de campo apontam uma relação entre esse aparecimento e o contato com veios leucossomáticos tardios, gerados tanto de fusão *in situ* como de injeções do embasamento. O metamorfismo de contato pode ser ou não associado ao mesmo evento.

São necessárias mais análises U-Pb para determinação da idade de cristalização e contexto tectônico das intrusões. Assim, poderá ser determinado se, de fato, ocorrem mais de um evento de magmatismo máfico na área de estudo, entre o Paleoproterozoico e o Neoproterozoico (Suíte José Gonçalves).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. C. H., TUPINAMBÁ, M., HEILBRON, M., TROUW, R. Geometric and kinematic analysis at the Central Tectonic Boundary of the Ribeira Belt, Southeastern Brazil. Belo Horizonte, *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*, n. 40, p. 32. 1998.

BASEI M. A. S., FRIMMEL H. E., NUTMAN A. P., PRECCIOZI F. Gondwana amalgamation based on detrital zircon ages from Neoproterozoic Ribeira and Dom Feliciano belts of South America and a comparison with coeval sequences from southwestern Africa. London, *Geological Society Special Publications*, v. 294, p. 239-256. 2008.

BENTO DOS SANTOS, T., MUNHÁ, J., TASSINARI, C., FONSECA, P., DIAS NETO, C. Thermochronology of central Ribeira Fold Belt, SE Brazil: petrological and geochronological evidence for high-temperature maintenance during Western Gondwana amalgamation. *Precambrian Research*, v. 180 (3–4), p. 285–298. 2010.

BENTO DOS SANTOS, T. M., TASSINARI, C. C. G., FONSECA, P. E. Diachronic collision, slab break-off and long-term high thermal flux in the Brasiliano-Pan-African orogeny: implications for the geodynamic evolution of the Mantiqueira Province. *Precambrian Research*, v. 260, p. 1–22. 2015.

BONGIOLO, E. M., RENAC, C., PIZA, P. D., SCHMITT, R. S., MEXIAS, A. S. Origin of pegmatites and fluids at Ponta Negra (RJ, Brazil) during late-to post-collisional stages of the Gondwana Assembly. *Lithos*, v. 240, p. 259–275. 2016.

BUCHER. K.; FREY. M. *Petrogenesis of metamorphic rocks*: Revisão completa livro Winkler. 6 ed. Berlin-Heidelberg: Springer & Verlag, 1994.

DE WAELE, B., JOHNSON, S. P., PISAREVSKY, S. A. Palaeoproterozoic to Neoproterozoic growth and evolution of the eastern Congo Craton: Its role in the Rodinia puzzle. *Precambrian Research*, v. 160, p. 127–141. 2008.

CAPISTRANO, G. G, SCHMITT, R. S., MEDEIROS, S. R., FERNANDES, G. L. F. Evidence of a Neoproterozoic active continental margin - geochemistry and isotope geology of high-grade paragneiss from the Ribeira Orogen, SE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 77, p. 170-184. 2017.

CAPISTRANO, G. G, SCHMITT, R. S., MEDEIROS, S. R., VIEIRA, T. A. T. Ediacaran ophiolite relics in the SE Brazilian coast: Field, geochemical and geochronological evidence from metabasites and paragneisses. *Journal of South American Earth Sciences*. 2020. DOI: 103040.

FERNANDES, G. L. DE F., SCHMITT, R. S., BONGIOLO, E. M., BASEI, M. A. S, MENDES, J. C. Unraveling the tectonic evolution of a Neoproterozoic-Cambrian active margin in the Ribeira Orogen (SE Brazil): U-Pb and Lu-Hf provenance data. *Precambrian Research*, v. 216, p. 337-360. 2015.

FONSECA A. C. Fragmento tectônico Cabo Frio: Aspectos de campo, petrografia e geoquímica. *Anuário IGEO-UFRJ*, v. 17, p. 109-131. 1994.

FRASER, G.; ELLIS, D.; EGGINS, S. Zirconium abundance in granulite facies minerals, with implications for zircon geochronology in high grade rocks. *Geology*, p. 607–610. 1997.

GREEN, D. H.; RINGWOOD, A. E. The Origin of Basalts Magmas. *Geophysical Monograph*, v.13, p. 489-495. 1969.

HEILBRON, M.; MACHADO, N. Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic–Eopaleozoic Ribeira belt SE Brazil. *Precambrian Research*, v. 125, p. 87–112. 2003.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; CAMPOS NETO, M.; SILVA, L. C.; TROUW, R. A. J.; JANASI, V. C. A Província Mantiqueira. *O Desvendar de Um Continente: A Moderna Geologia da América do Sul e o Legado da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, p. 203-234. 2004.

HEILBRON, M.; VALERIANO, C. M.; TASSINARI, C. C. G.; ALMEIDA, J. C. H.; TUPINAMBÁ, M.; SIGA JR., O.; TROUW, R. A. J. Correlation of Neoproterozoic terranes between the Ribeira Belt, SE Brazil and its African counterpart: comparative tectonic evolution and open questions. London: *Geological Society Special Publications*, v. 294, p. 279-296. 2008.

HEILBRON, M., TUPINAMBÁ, M., VALERIANO, C. M., ARMSTRONG, R., SILVA, L. G. E., MELO, R. S., MACHADO, A. S. N. The Serra da Bolívia Complex: the record of a new Neo-proterozoic arc-related unit at Ribeira Belt. *Precambrian Research*, v. 238, p. 158-175. 2013.

KHATER, B. B. *Controle estrutural e caracterização dos diques de diabásio e das falhas do Cretáceo nos costões rochosos da Praia Brava, Cabo Frio – RJ*. 2020. 81 p. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

KIRKLAND, C., SMITHIES, R. H., TAYLOR, R., EVANS, N. Zircon Th/U ratios in magmatic environs. *Lithos*, p. 397-414. 2015.

KUHN A., STUWE K., TROUW R. A. J. Metamorphic Evolution of the Ribeira Belt: Evidence from Outcrops in the Rio de Janeiro Area, Brazil. *Journal of Petrology*, v. 43, p. 2303-2323. 2004.

LEITE, J. A. D., HARTMANN, L.A., MCNAUGHTON, N. J., CHEMALE JR., F. SHRIMP U/Pb zircon geochronology of Neoproterozoic juvenile and crustal-reworked terranes in southernmost Brazil. *International Geology Review*, v. 40, p. 688-705. 1998.

MARTINS, G. G., MENDES, J. C., SCHMITT, R. S., ARMSTRONG, R., VALERIANO, C. 550–490 Ma pre-to post-collisional shoshonitic rocks in the Ribeira Belt (SE Brazil) and their tectonic significance. *Precambrian Research*, v. 286, p. 352–369. 2016.

MENDES, R. S. et al. Two generations of mafic dyke swarms in the Southeastern Brazilian coast: reactivation of structural lineaments during the gravitational collapse of the Araçuaí-Ribeira Orogen (500 Ma) and West Gondwana breakup (140 Ma). *Precambrian Research*, v. 340, p. 105-344. 2020.

MONIÉ P., BOSCH D., BRUGUIER O., VAUCHEZ A., ROLLAND Y., NSUNGANI P., BUTA NETO A. The Late Neoproterozoic/Early Palaeozoic evolution of the West Congo Belt of NW Angola: geochronological (U-Pb and Ar-Ar) and petrostructural constraints. *Terra Nova*, v. 24(3), p. 238-247. 2012.

PATTISON, D. R. M. Petrogenetic significance of orthopyroxene-free garnet + clinopyroxene + plagioclase-bearing metabasites with respect to the amphibolite and granulite facies. *Journal of Metamorphic Geology* v. 21, p. 21–34. 2003.

PATTISON, D. R. M.; CHACKO, T.; FARQUHAR, J.; MCFARLANE, C. R. M. Temperatures of granulite-facies metamorphism: constraints from experimental phase equilibria and thermobarometry for retrograde exchange. *Journal of Petrology*, v. 44 (5), p. 867–900. 2003.

PEARCE, J. A. Immobile Element Fingerprinting of Ophiolites. *Elements* v. 10, p. 101-108. 2004.

RICHARD, L. R. MinPet: mineralogical and petrological data processing system, version 2.02. Québec, *MinPet Geological Software*. 1995.

ROSENBAUM, G.; GASPARON, M.; LUCENTE, F. P.; PECCERILLO, A.; MILLER, M. S. Kinematics of slab tear faults during subduction segmentation and implications for Italian magmatism. *Tectonics*. 2008. DOI: 10.1029/2007TC002143.

RUBATTO, D. Zircon trace element geochemistry: partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism. *Chemical Geology*, v. 184, p. 123–138. 2002.



RUBATTO, D. Zircon: The Metamorphic Mineral. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, v. 83(1), p. 261–295. 2017. DOI:10.2138/rmg.2017.83.9.

RUBATTO, D.; REGIS, D.; HERMANN, J.; BOSTON, K.; ENGI, M.; BELTRANDO, M.; & MCALPINE, S. R. Yo-yo subduction recorded by accessory minerals in the Italian Western Alps. *Nature Geoscience*, v. 4(5), p. 338. 2011.

SCHMMIT, R. S. et al. Geologia e recursos minerais da folha Rio das Ostras SF.24-Y-A-IV e Cabo Frio SF.23-Z-B-VI, estado do Rio de Janeiro escala 1:100.000. CPRM, Belo Horizonte. 2012.

SCHMITT, R. S.; FRAGOSO, R. DE A.; COLLINS, A. S. Suturing Gondwana in the Cambrian: The Orogenic Events of the Final Amalgamation. *Geology of Southwest Gondwana. Springer International Publishing*, p. 411–432. 2018.

SCHMMIT, R. S.; TROUW, R.; VAN SCHMUS, W. R.; ARMSTRONG, R.; STANTON, N. S. G. The tectonic significance of the Cabo Frio Tectonic Domain in the SE Brazilian margin: a Paleoproterozoic through Cretaceous saga of a reworked continental margin. Brazilian. *Journal of Geology*, v. 46 (1), p. 37-66. 2016.

SCHMITT, R. S.; TROUW, R. A. J.; VAN SCHMUS, W. R.; PIMENTEL, M. M. Late amalgamation in the central part of West Gondwana: new geochronological data and the characterization of a Cambrian collisional orogeny in the Ribeira Belt (SE Brazil). *Precambrian Research*, Amsterdam, v. 133, n. 1-2, p. 29-61. 2004.

SCHMITT, R. S. *A Orogênese Búzios: um evento tectonometamórfico do cambro-ordoviciano na Faixa Ribeira, SE Brasil*. 2001. 273 p. - Tese (Doutorado). Instituto de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

SCHMITT, R. S.; TROUW, R.; MEDEIROS, S. R.; DANTAS, E. L. Age and geotectonic setting of Late Neoproterozoic juvenile mafic gneisses and associated paragneisses from the Ribeira belt (SE Brazil) based on geochemistry and Sm–Nd

data - Implications on Gondwana assembly. *Gondwana Research*, v. 13, p. 502–515. 2008.

SIAL, A. N.; MCREATH, I. *Petrologia Ígnea*. SBG, CNPq. Ed. Bureau, 1984.

TROUW, R. A. J., HEILBRON M., RIBEIRO A., PACIULLO F. V. P., VALERIANO C. M., ALMEIDA, J. C. H., TUPINAMBÁ M., ANDREIS R. R. The Central Segment of the Ribeira Belt. Rio de Janeiro, *Anais do 31º Congresso Internacional de Geologia*, p. 287- 310. 2000.

VALERIANO, C.M., TUPINAMBÁ, M., SIMONETTI, A., HEILBRON, M., ALMEIDA, J., EIRADO SILVA, L. U-Pb LA-MC-ICPMS geochronology of Cambro-Ordovician post-collisional granites of the Ribeira Belt, southeast Brazil: Terminal Brasiliano magmatism in central Gondwana supercontinent. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 32(4), p. 416-428. 2011.

WINTER, J. D. *Introdução a Petrologia Ígnea e Metamórfica*. 2º Edição. Nova Iorque, Prentice Hall, 2010.

WINKLER, H. G. F. *Petrogenesis of metamorphic rocks*. New York: Springer-Verlag, 1974.

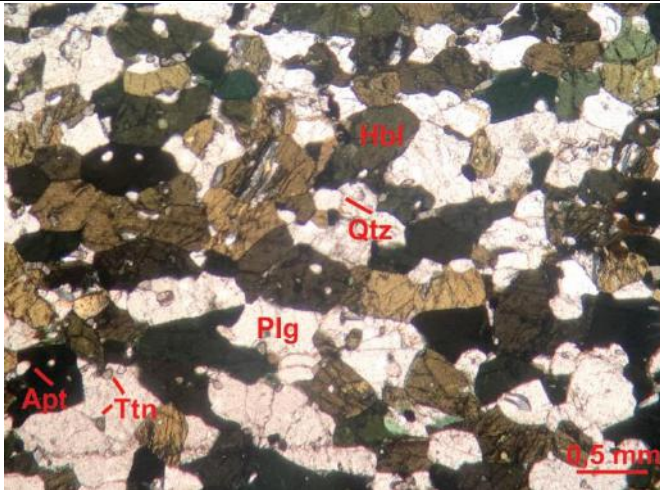
YARDLEY, B. W. D. *An Introduction to Metamorphic Petrology*. Longman Scientific & Technical, 1989.

YARDLEY, B. W. D.; MACKENZIE, W. S.; GUILFORD, C. *Atlas of metamorphic rocks and their textures*. England: Longman Scientific & Technical, 1990.

**APÉNDICE I**  
**(Fichas Petrográficas)**

## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso - Raphaela Lopes de Andrade Silva  
Universidade Federal do Rio de Janeiro



**Lâmina:** RL-01A

**Localização:** Forte São Matheus  
(806988/7466011 23S)

### Mineralogia;

**Essencial:** Anfibólio (50%), Plagioclásio (36%), Quartzo (5%), Biotita (1%);

**Acessória:** Titanita (2%), Ilmenita (2%), Apatita (2%), Rutilo (1%);

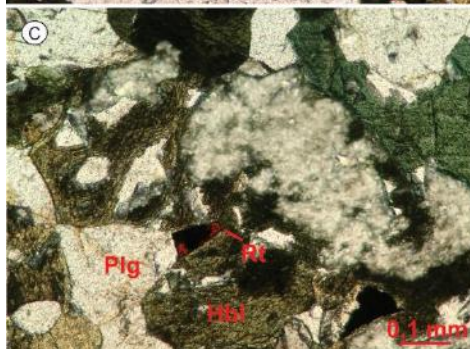
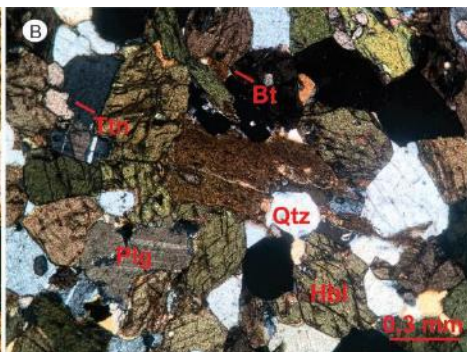
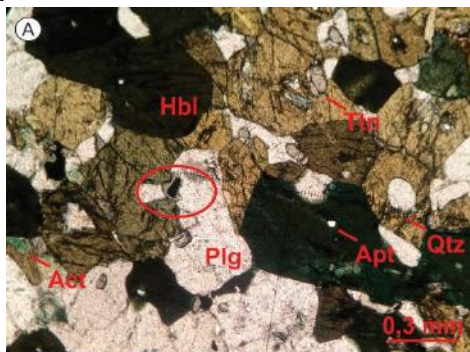
**Secundária:** Sericita (3% do plg), Epidoto (1%).

**Litologia:** Ortoanfibolito

**Fácies Metamórfica:** Anfibolito

**Protólito:** Máfico (Diabásio)

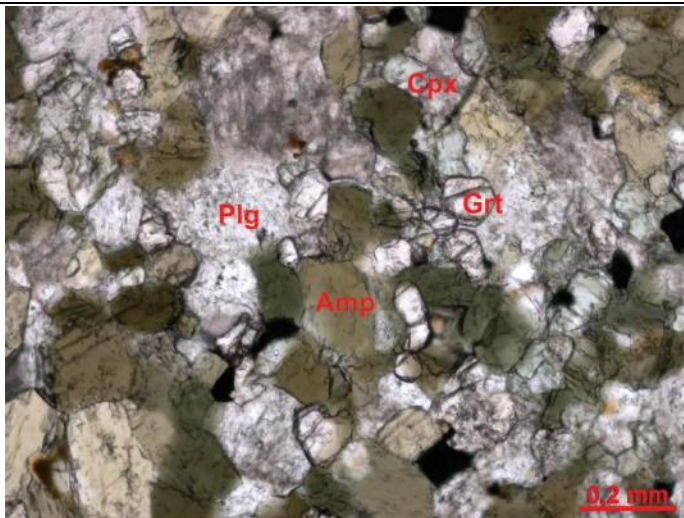
**Descrição:** Amostrada em domínio de moderado a alto *strain*, sem contato com veios leucossomáticos. Rocha inequigranular, de granulação fina a média, com textura granoblástica. Os cristais poiquiloblásticos de hornblenda tem cor verde acastanhado, são tabulares, anédricos a subédricos, duas direções de clivagem a 60°-120 e marcam a foliação penetrativa da lâmina (Fig. principal). Formam contatos retos, por vezes poligonais, com o plagioclásio, demonstrando equilíbrio. Possuem inclusões de apatita e quartzo granular. Localmente, é possível observar bordas com sobrecrecimento de diferente composição em desequilíbrio, com cor turquesa, sugestivo de possível alteração tardia para actinolita (Fig. A). Nas bordas e fraturas dos cristais também ocorre leve alteração em estágio inicial, possivelmente para biotita, marcada pela mudança nas cores de interferência (Fig. B). O plagioclásio também tem hábito tabular, é em sua maioria subédrico, está orientado juntamente com a hornblenda e apresenta boa cristalinidade, exceto nos domínios em que sofre alteração para sericita. Apatita também cresce associada à alteração do plagioclásio. Inclui apatita e titanita. A titanita, além de inclusa na hornblenda, aparece formando coronas ao redor de ilmenita (Fig. A). O quartzo também aparece entre cristais de plagioclásio e hornblenda (Fig. B). Rutilo está presente como mineral acessório, associado aos opacos (Fig. C).





## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso - Raphaela Lopes de Andrade Silva  
Universidade Federal do Rio de Janeiro



**Lâmina:** RL-02A

**Localização:** Costão Praia Brava  
(807330/7465681 WGS84 23S)

**Mineralogia;**

**Essencial:** Anfibólio (34%), Clinopiroxênio (16%), Plagioclásio (30%), Granada (14%), Quartzo (2%)

**Acessória:** Opacos (2%), Rutilo (1%), Apatita (1%)

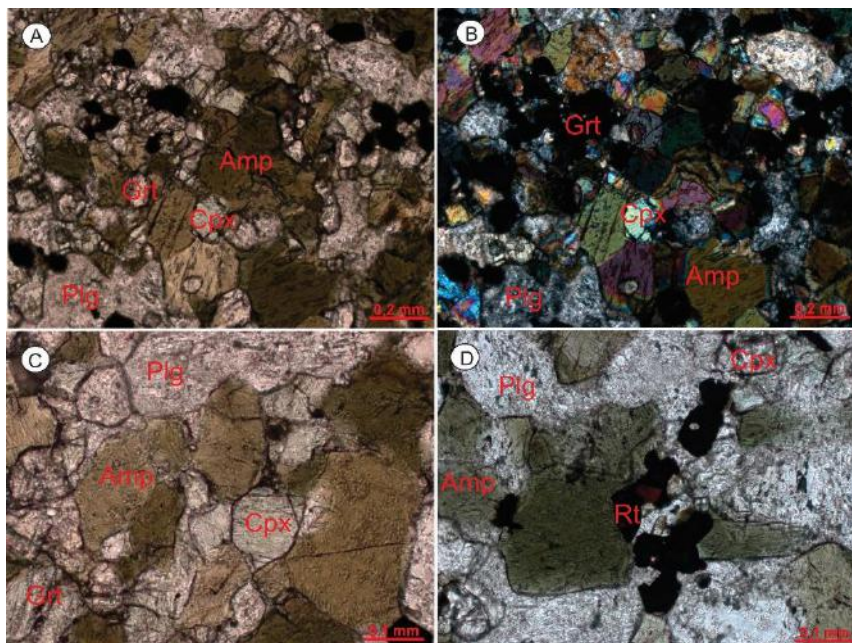
**Secundária:** Sericita (50% do plg)

**Litologia:** Granada-Piroxênio Ortoanfibolito

**Fácies Metamórfica:** Granulito  
retrometamorfizado para Anfibolito

**Protólito:** Máfico (Diabásio)

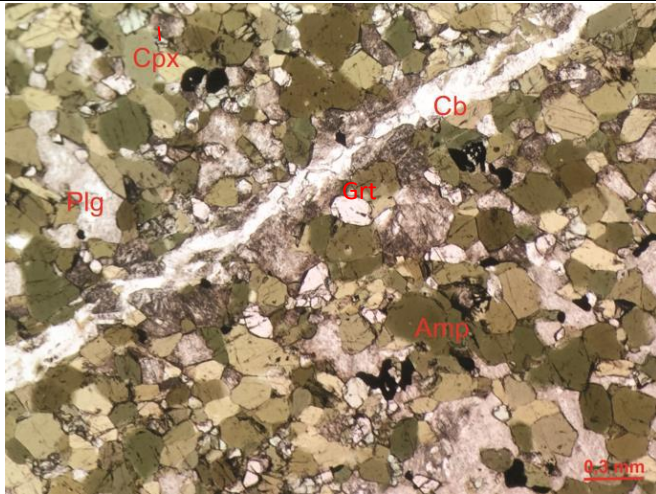
**Descrição:** Amostra retirada da borda de um corpo máfico pouco deformado. A rocha possui granulação fina e, apesar de possuir uma média no tamanho dos cristais granoblásticos (1mm), as hornblendas que crescem levemente orientadas a partir da substituição do diopsídio tem entre 2-3mm e atribuem textura inequigranular a rocha (Fig. A e principal). Os diopsídios são granulares e euédricos, com cor natural verde claro a incolor e cor de interferência entre azul e rosa de 2º ordem. É possível notar que em algumas substituições Cpx→Hbl a cor de interferência do diopsídio permanece preservada em cristais com hábito e cor natural já modificados (Fig. A e B). As granadas também são euédricas e tem cor rosa claro, ficam opacas à nicóis cruzados (Fig. A e B). Aparecem também como fraguimentos menores dispersos pela lâmina. Os plagioclásios não parecem estar em equilíbrio e tem cerca de 50% de sericita (Fig. D). Eles seguem a orientação preferencial similar a da hornblenda. O quartzo é granular, com faces limitadas por granada e diopsídio e a apatita aparece inclusa no anfibólio. Os contatos entre os cristais é majoritariamente poligonal e demonstra equilíbrio entre as fases minerais em uma paragênese de alto grau na **Fácies Granulito** (Hbl+Cpx+Grt+Plg+Qtz) – Fig. principal - enquanto que um **desequilíbrio** da hornblenda com o diopsídio e da solução sólida da série dos plagioclásios registrando um metamorfismo retrógrado para a **Fácies Anfibolito**. O rutilo aparece associado aos minerais opacos e as granadas, refletindo também a alta pressão de metamorfismo (Fig. D).





## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso - Raphaela Lopes de Andrade Silva  
Universidade Federal do Rio de Janeiro



**Lâmina:** RL-02B

**Localização:** Costão Praia Brava  
(807330/7465681 WGS84 23S)

**Mineralogia;**

**Essencial:** Hornblenda (45%), Plagioclásio (25%), Diopsídio (10%), Granada (10%);

**Acessória:** Opacos (2%), Titanita (2%), Epidoto (<1%), Carbonato (5%);

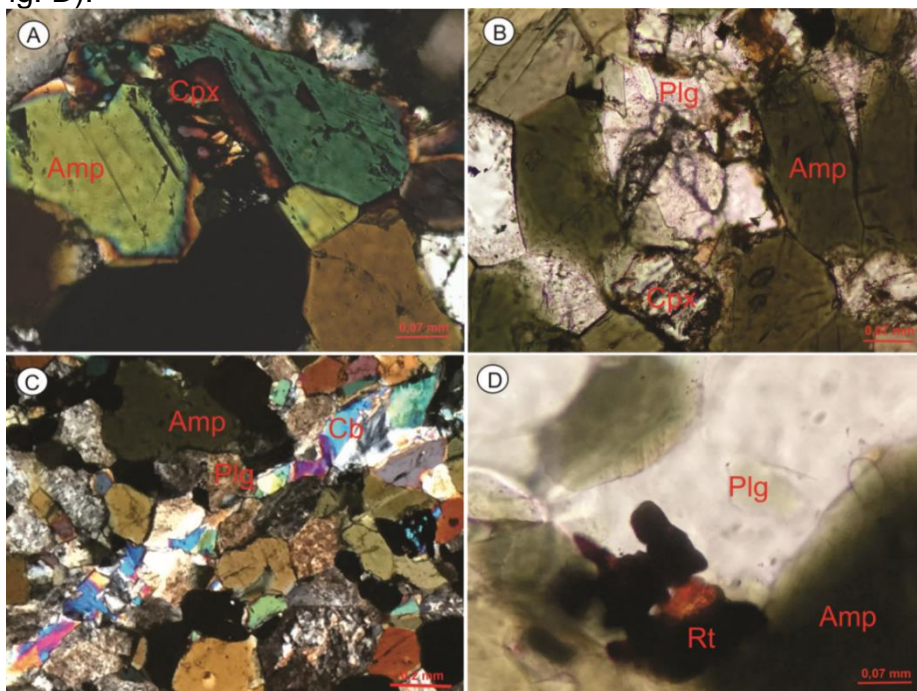
**Secundária:** Sericita (40% do plg)

**Litologia:** Granada-Piroxênio Ortoanfibolito

**Fácies Metamórfica:** Granulito retrometamorfizado para Anfibolito

**Protólito:** Máfico (Diabásio)

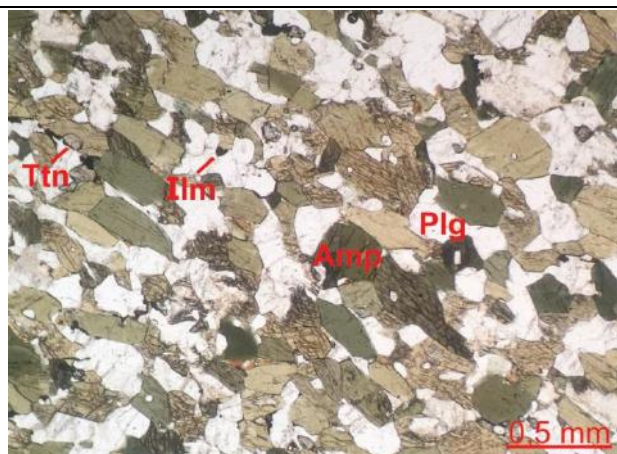
**Descrição:** Amostra retirada do núcleo do corpo máfico pouco deformado. Rocha de granulação fina, inequigranular, com textura granoblástica, localmente nematoblástica, cortada por veio milimétrico de carbonato (Fig. C). Sua mineralogia inclui principalmente hornblenda e plagioclásio, com menores proporções de diopsídio e granada onde os contatos entre os cristais é majoritariamente poligonal e demonstra equilíbrio entre as fases em uma paragênese de pico metamórfico  $Hbl+Cpx+Grt+Plg+Qtz$ . A hornblenda é verde claro a verde, tem faces cristalinas bem definidas e apresenta duas direções de clivagem bem marcadas. A cor de interferência varia do amarelo ao azul, exceto nas bordas, onde localmente aparecem cores de interferência mais altas devido a reações de substituição para piroxênio (progressiva) ou actinolita (retrógrada). Por vezes estão poiquiloblásticos com inclusões de cristais prismáticos de apatita. O diopsídio tem o seu tom de verde claro característico, hábito tabular e aparece tanto em equilíbrio com a paragênese de pico metamórfico como isolado sendo substituído por anfibólio demonstrando uma feição retrometamórfica (Fig. A e B). O plagioclásio por sua vez também tem o hábito tabular e está extremamente sericitizado, associado também a caersotita. Junto com a hornblenda possui uma direção preferencial, no entanto não evidenciam uma foliação bem marcada do tipo penetrativa. Os minerais opacos estão associados a rutilo, indicando uma alta pressão de metamorfismo (Fig. D).





## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso - Raphaela Lopes de Andrade Silva  
Universidade Federal do Rio de Janeiro



**Lâmina:** RL-03A

**Localização:** Parque Municipal Boca da Barra  
(807378/7465597 23S)

**Mineralogia;**

**Essencial:** Plagioclásio (43%), Anfibólio (48%), Biotita (2%)

**Acessória:** Titanita (3%), Ilmenita (2%), Apatita (2%), Rutilo (<1%)

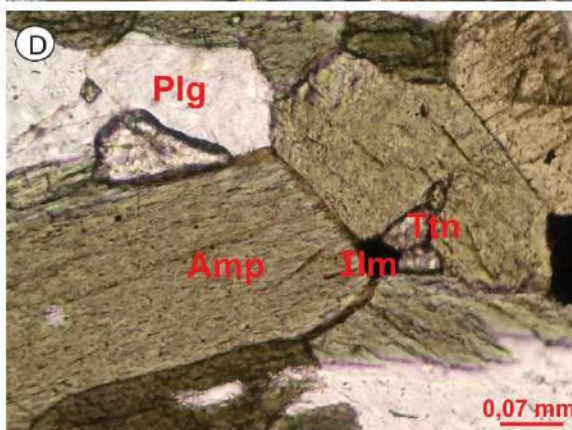
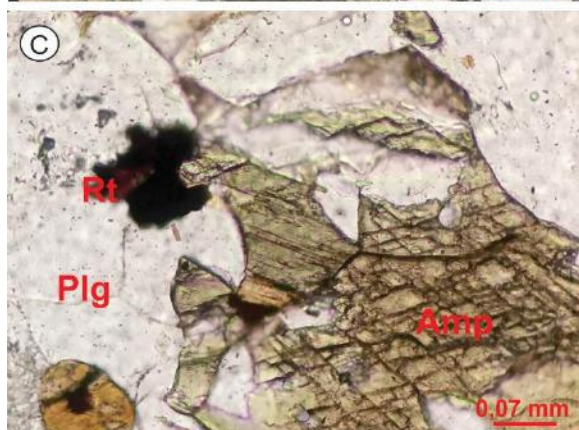
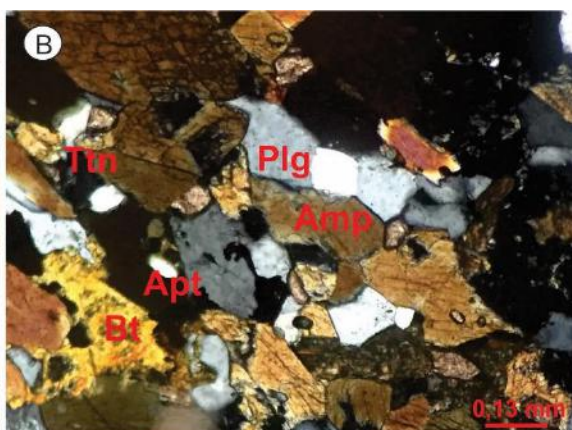
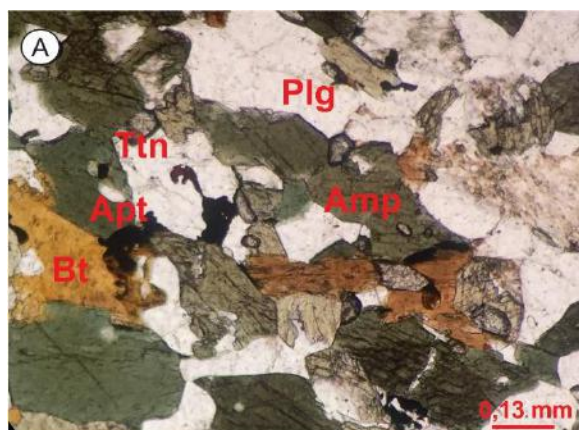
**Secundária:** Sericita (5-10% do plg)

**Litologia:** Ortoanfibolito

**Fácies Metamórfica:** Anfibolito

**Protólito:** Máfico (Diabásio)

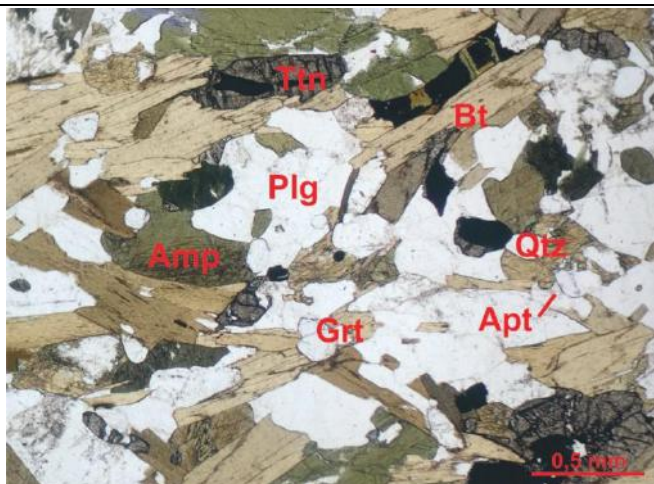
**Descrição:** Rocha de granulação fina, inequigranular amostrada em domínio de alto *strain*. Os cristais tabulares orientados de hornblenda atribuem textura nematoblástica e marcam a foliação penetrativa da lâmina (Fig. principal). São verde amarelados a verde, possuem inclusões de apatita granular e tem a seção basal marcada por duas direções de clivagem a 60°-120°. Há localmente substituição desse mineral por biotita (Fig. A e B). O plagioclásio é o mineral que apresenta maior variação de tamanho, entre 0,1 e 0,5mm. Tem hábito tabular e altera para sericita cerca de 10% dos grãos normalmente a partir de fraturas e dos contatos. Também marca a foliação da rocha seguindo a orientação preferencial da hornblenda. Titanita aparece em equilíbrio com o anfibólio limitando suas faces cristalinas formando contatos poligonais (Fig. A), porém por vezes é gerada por exolução a partir de ilmenita em uma descompressão anterior a formação da hornblenda (Fig. D). Os opacos também aparecem associados a rutilo em pequena proporção.





## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso - Raphaela Lopes de Andrade Silva  
Universidade Federal do Rio de Janeiro



**Lâmina:** RL-03E

**Localização:** Parque Municipal Boca da Barra (807376/7465576 23S)

**Mineralogia;**

**Essencial:** Plagioclásio (43%), Anfibólio (17%), Biotita (20%), Granada (3%), Quartzo (3%)

**Acessória:** Titanita (7%), Ilmenita (4%), Apatita (3%)

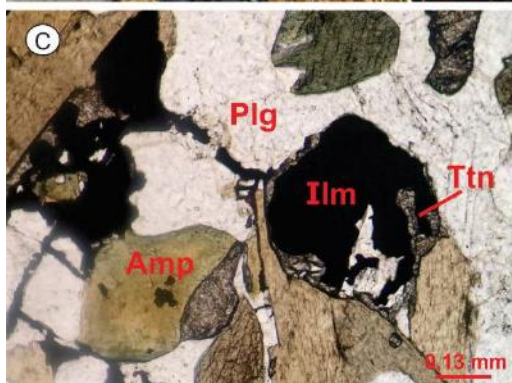
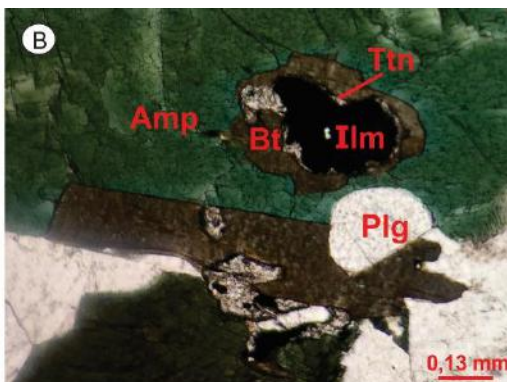
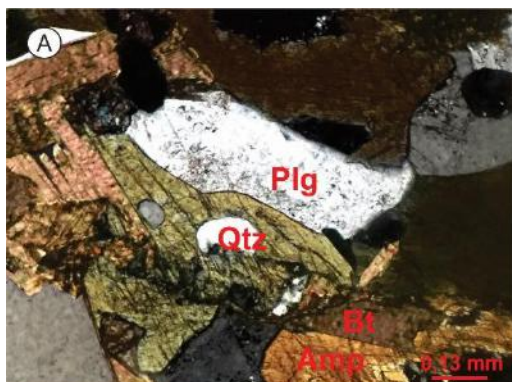
**Secundária:** Sericita (5% do plg)

**Litologia:** Ortoanfibolito

**Fácies Metamórfica:** Xisto Verde

**Protólito:** Máfico (Diabásio)

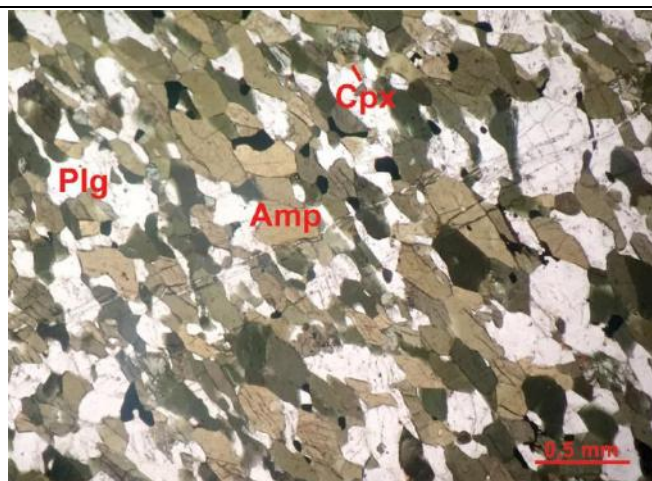
**Descrição:** Amostra retirada de um paleodique máfico em porção migmatizada e milonitizada do afloramento. Rocha mesocrática, inequigranular de granulação fina a média, com textura lepidoblástica (Fig. principal). A hornblenda é verde, tabular e localmente poiquiloblástica devido a inclusões de apatita. A apatita também pode aparecer dispersa na rocha na forma de cristais tabulares (Fig. principal e B). O quartzo é granular e além de aparecer incluso (Fig. A), limita as faces cristalinas de hornblendas e biotitas (Fig. principal). Nesse corpo a presença majoritária marcante de anfibólio é substituída por biotita, que cresce através da hidratação da hornblenda e segue a mesma orientação mineral (Fig. A). Essa reação também parece dar origem a cristais grandes e euédricos de titanita (Fig. B). A granada cresce depois da biotita, provável resultado também da substituição  $Hbl \rightarrow Bt$ , liberando Si e Fe. Uma feição que chama atenção na lâmina são as texturas em corona encontradas de ilmenita+titanita (Fig. C) e ilmenita+titanita+biotita+anfibólio concêntricas (Fig. B), sugerindo retrometamorfismo. O plagioclásio é límpido, com menos de 5% de sericita na sua superfície, tem hábito tabular e limita as fácies cristalinas dos outros minerais (Fig. principal).





## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso - Raphaela Lopes de Andrade Silva  
Universidade Federal do Rio de Janeiro



**Lâmina:** RL-03I

**Localização:** Parque Municipal Boca da Barra  
(807370/7465594 23S)

**Mineralogia;**

**Essencial:** Anfibólio (52%), Plagioclásio (32%), Clinopiroxênio (18%)

**Acessória:** Ilmenita (3%), Apatita (1%), Rutilo (1%)

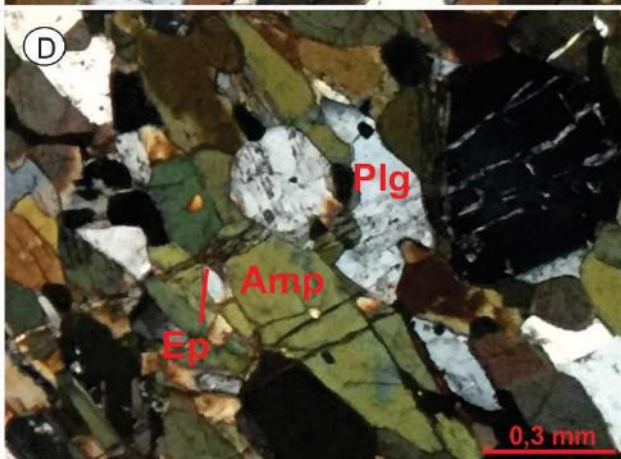
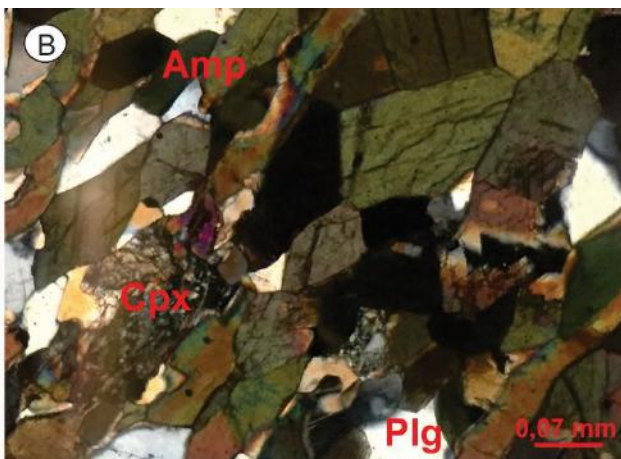
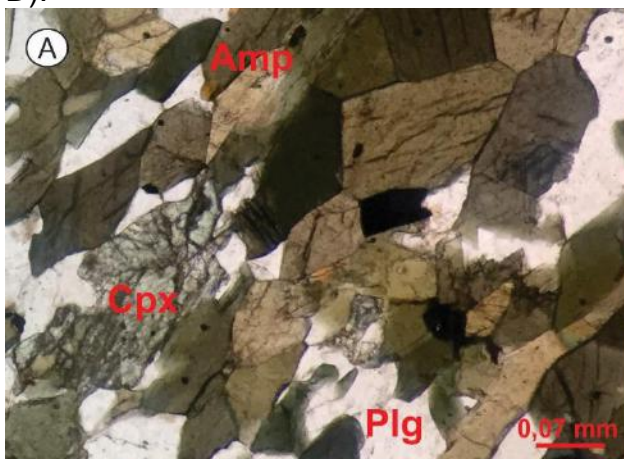
**Secundária:** Sericita (3% do plg), Epidoto (1%)

**Litologia:** Ortoanfibolito

**Fácies Metamórfica:** Anfibolito

**Protólito:** Máfico (Diabásio)

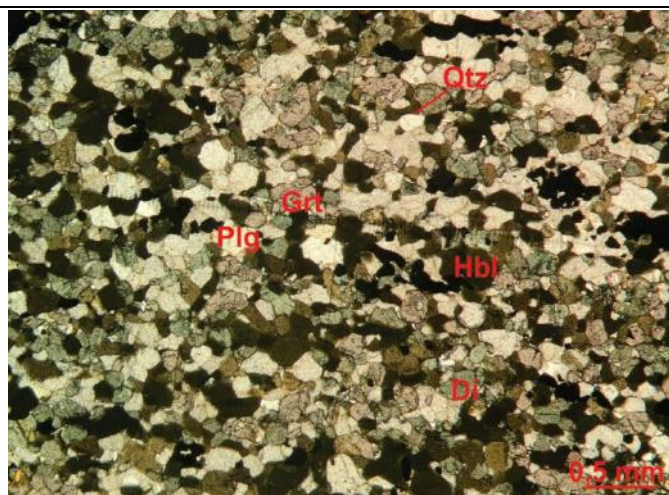
**Descrição:** Amostragem feita em corpo preservado de fusão e em domínio de alto *strain*. A rocha é inequigranular (variando de 0,1 a 0,8 mm), tem granulação fina e textura nematoblástica. Cristais em tons de verde oliva de hornblenda tem hábito tabular, estão estirados e orientados segundo a direção NW-SE, formando a foliação penetrativa da rocha. Plagioclásio euédrico/subédrico, formando contatos poligonais em equilíbrio com a hornblenda. Pouca proporção de sericita alterando o plagioclásio. Cristais de diopsídio em disequilíbrio são substituídos por hornblenda a partir de suas bordas e fraturas (Fig. A e C). É possível observar em algumas substituições ainda incompletas o paleocontorno dos cristais de diopsídio (Fig. C). Os minerais opacos são anédricos e ocorrem nos interstícios. Apatita aparece em pequena proporção na forma de inclusões na hornblenda. Há ainda, vênulas de epidoto preenchendo fraturas tardias (Fig. D).





## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso - Raphaela Lopes de Andrade Silva  
Universidade Federal do Rio de Janeiro



**Lâmina:** RL-03J

**Localização:** Parque Municipal Boca da Barra  
(807399/7465580 23S)

**Mineralogia;**

**Essencial:** Clinopiroxênio (30%), Granada (10%), Anfibólio (20%), Plagioclásio (28%), Quartzo (5%);

**Acessória:** Opacos (5%), Apatita (1%), Rutilo (1%);

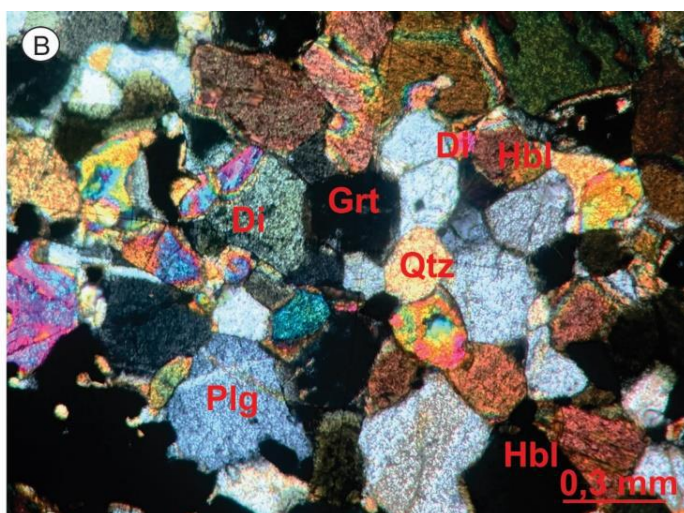
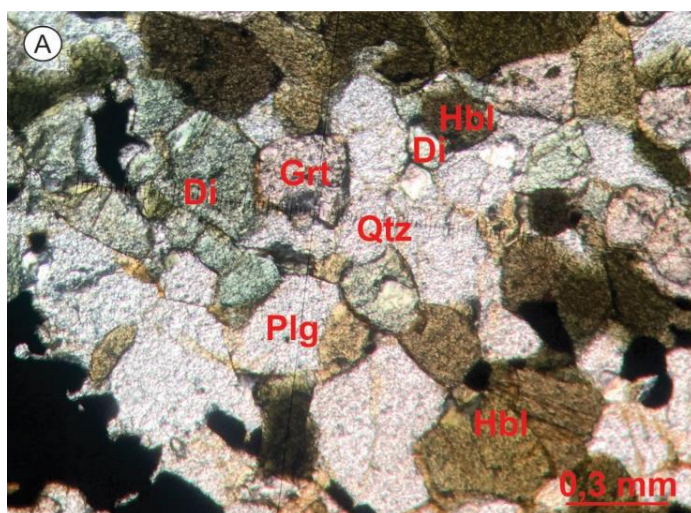
**Secundária:** Sericita (3% do plg).

**Litologia:** Granada-Piroxênio Ortoanfibolito

**Fácies Metamórfica:** Granulito

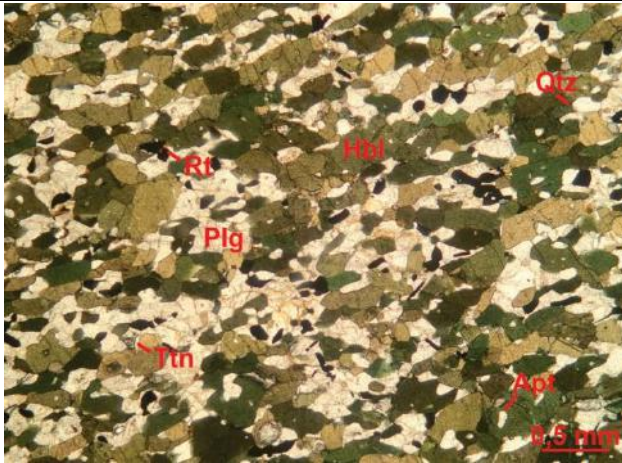
**Protólito:** Máfico (Diabásio)

**Descrição:** Rocha equigranular, fina ( $\pm 0.25$ mm) com textura granoblástica. Diopsídio, granada e plagioclásio são euédricos, formam contatos poligonais e estrutura em *annealing*, demonstrando equilíbrio entre as fases. Granada e diopsídio tem moderado grau de faturamento. A hornblenda é majoritariamente retrometamórfica e está em disequilíbrio com a paragênese de alto grau grt+di+qtz+plg (Fig. A e B). São cristais subédricos com contatos irregulares com os demais minerais e está visivelmente substituindo o diopsídio, envolvendo também granada e plagioclásio na reação (Fig. A e B). Os cristais de hornblenda crescem levemente orientados, incluindo o quartzo. Apatita granular aparece nos contatos entre os cristais maiores (Fig principal). Sericita altera as bordas dos cristais de plagioclásio.



## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso - Raphaela Lopes de Andrade Silva  
Universidade Federal do Rio de Janeiro



**Lâmina:** RL-03K

**Localização:** Parque Municipal Boca da Barra  
(807395/7465585 23S)

**Mineralogia;**

**Essencial:** Anfibólio (60%), Plagioclásio (30%), Quartzo (3%);

**Acessória:** Titanita (3%), Opacos (3%), Apatita (1%);

**Secundária:** Sericita (5% do plg).

**Litologia:** Ortoanfibolito

**Fácies Metamórfica:** Anfibolito

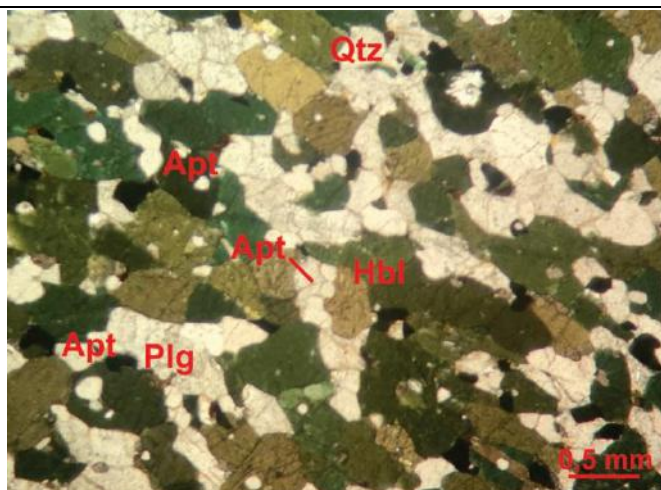
**Protólito:** Máfico (Diabásio)

**Descrição:** Rocha metamáfica, de granulação fina a média, inequigranular, com textura nematoblástica marcada por cristais tabulares alongados de hornblenda verde oliva. Esses cristais de hornblenda têm em média 0,5mm, mas podem chegar até 1,1 mm formando um aspecto fitado. São euédricos a subédricos, tem alta cristalinidade e formam contatos retos, e por vezes poligonais, com o plagioclásio, demonstrando estado de equilíbrio. O plagioclásio possui cristais equigranulares em torno de 0,3-0,4 mm, em sua maioria subédricos. Quartzo é em sua maioria granular, porém alguns cristais possuem faces cristalinas bem definidas. Pode aparecer tanto como inclusão em hornblenda como entre os cristais da assembleia em equilíbrio, limitando as faces cristalinas. Titanita e apatita aparecem como inclusões. Sericita ocorre como alteração do plagioclásio sódico. Os opacos podem tanto ser anédricos como euédricos com hábito prismático.



## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso - Raphaela Lopes de Andrade Silva  
Universidade Federal do Rio de Janeiro



**Lâmina:** RL-03M

**Localização:** Parque Municipal Boca da Barra  
(807387/7465588 23S)

**Mineralogia;**

**Essencial:** Anfibólio (43%), Plagioclásio (37%), Quartzo (5%), Biotita (4%);

**Acessória:** Apatita (5%), Titanita (3%)  
Opacos (3%), Rutilo (<1%);

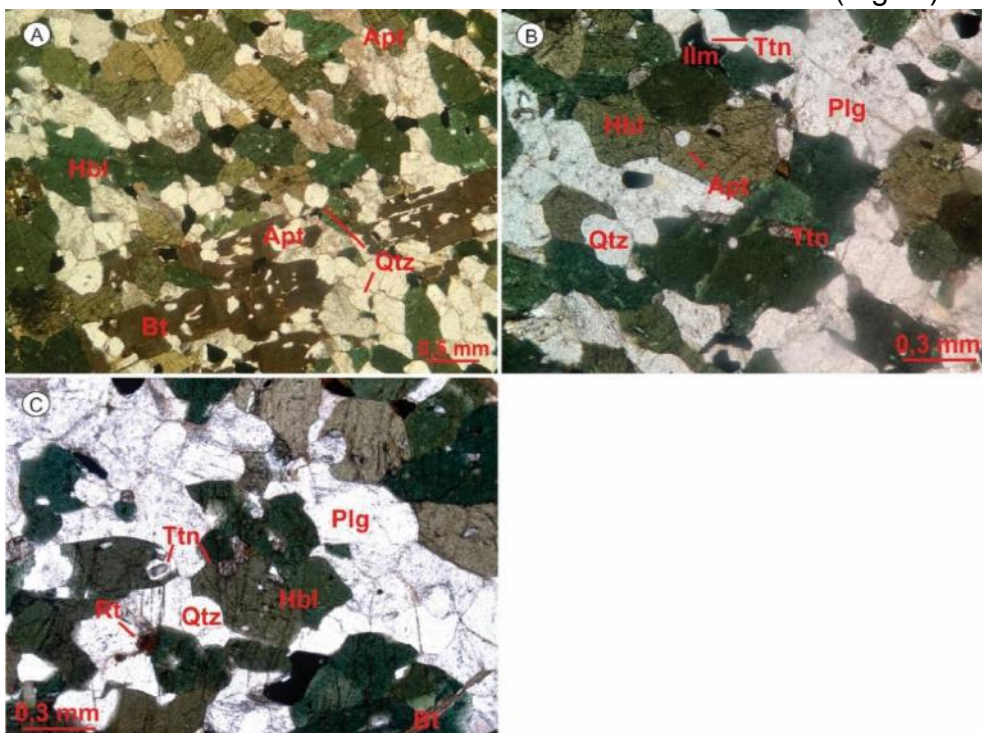
**Secundária:** Sericita (10% do plg), Epidoto (<1%).

**Litologia:** Ortoanfibolito

**Fácies Metamórfica:** Anfibolito

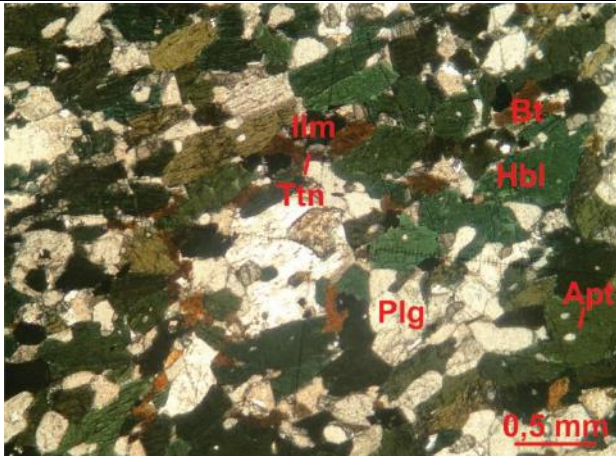
**Protólito:** Máfico (Diabásio)

**Descrição:** Rocha de granulação fina, inequigranular porfirítica, com textura granoblástica orientada, marcada por cristais tabulares alongados de hornblenda verde escura (Fig. principal). O pleocroísmo desses cristais varia de verde oliva a verde azulado. Esses cristais de hornblenda têm em média 0,7 mm. São euédricos em sua maioria, tendo suas faces cristalinas bem desenvolvidas, formando contatos retos e poligonais com o plagioclásio, demonstrando estado de equilíbrio. Possui inclusões de apatita atribuindo textura poiquilítica a hornblenda (Fig. principal). O plagioclásio por sua vez, possui cristais equigranulares em torno de 0,5 mm, anédricos a subédricos, com cristalinidade alta a moderada. Aparecem turvos ao microscópio como resultado da alteração para sericita. Epidoto também ocorre nesse contexto. Podem por vezes formar contatos embaiados tanto com outros cristais de plagioclásio quanto com quartzo. Este último é em sua maioria granular, porém alguns cristais possuem faces cristalinas bem desenvolvidas. Biotita aparece como pórfiroblasto, com pelo menos 1,5 mm, podendo chegar a 3 mm (Fig. A). Ocorre como substituição da hornblenda e cresce sem uma orientação preferencial. Apatita e opacos anédricos aparecem como inclusões. ou limitando as faces cristalinas dos minerais da assembleia em equilíbrio. A titanita pode ser tanto granular como também tabular (Fig. B e C). Pode ocorrer como inclusão ou formando coronas exolvidas em ilmenita (Fig. C).



## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso - Raphaela Lopes de Andrade Silva  
Universidade Federal do Rio de Janeiro



**Lâmina:** RL-03N

**Localização:** Parque Municipal Boca da Barra  
(807387/7465588 23S)

**Mineralogia;**

**Essencial:** Anfibólio (45%), Plagioclásio (35%), Biotita (7%), Quartzo (5%);

**Acessória:** Titanita (3%), Opacos (3%), Apatita (2%);

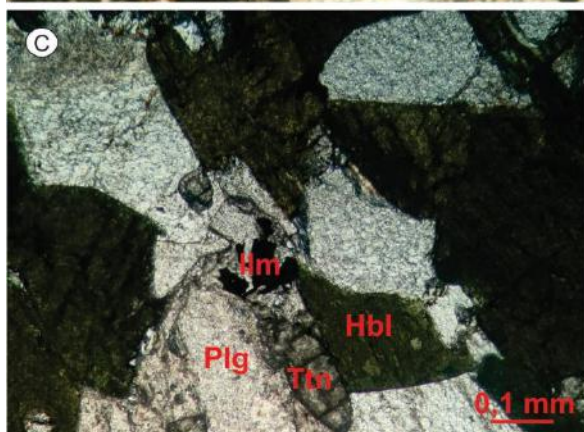
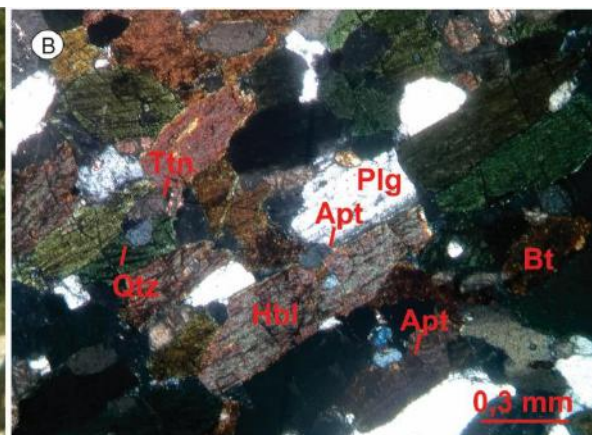
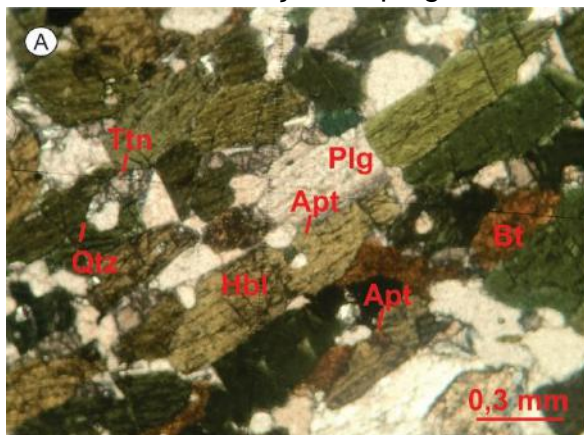
**Secundária:** Sericita (10% do plg).

**Litologia:** Ortoanfibolito

**Fácies Metamórfica:** Anfibolito

**Protólito:** Máfico (Diabásio)

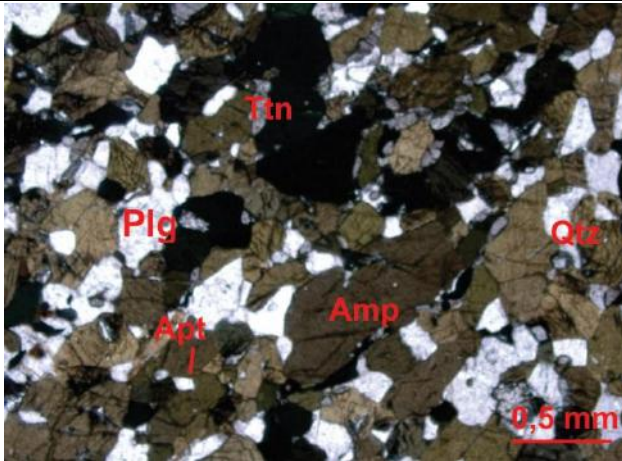
**Descrição:** Rocha de granulação fina, equigranular, com textura nematoblástica marcada por cristais tabulares alongados de hornblenda verde azulada (Fig. principal). Esses cristais de hornblenda têm em média 0,8 mm. São subédricos em sua maioria, tendo suas faces limitadas por cristais de quartzo granular e plagioclásio, com o qual forma contatos retos, demonstrando estado de equilíbrio (Fig. A). Biotita ocorre localmente substituindo a hornblenda, em sua maioria conserva a forma e orientação do cristal pretérito (Fig. A e B). O plagioclásio possui cristais equigranulares em torno de 0,3-0,4 mm, em sua maioria subédricos, com moderada cristalinidade. Quartzo é em sua maioria granular, porém alguns cristais possuem faces cristalinas bem definidas. Titanita, apatita e opacos aparecem como inclusões ou limitando as faces cristalinas dos minerais da assembleia em equilíbrio. A titanita pode ser tanto granular com cristais de 0,1 mm, como também tabular chegando a 0,4 mm (Fig. C) Pode ainda ocorrer formando textura corona ao redor de ilmenita (Fig. C). Apatita tem hábito granular e opacos são anédricos (Fig. A). Sericita ocorre como alteração do plagioclásio.





## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso - Raphaela Lopes de Andrade Silva  
Universidade Federal do Rio de Janeiro



**Lâmina:** RL-03O

**Localização:** Parque Municipal Boca da Barra  
(807399/7465580 23S)

**Mineralogia;**

**Essencial:** Anfibólio (60%), Plagioclásio (37%), Quartzo (3%), Biotita (1%);

**Acessória:** Apatita (3%), Titanita (3%)  
Opacos (3%);

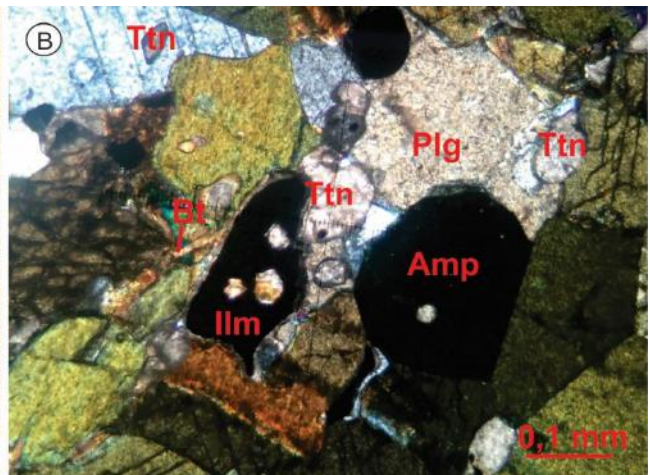
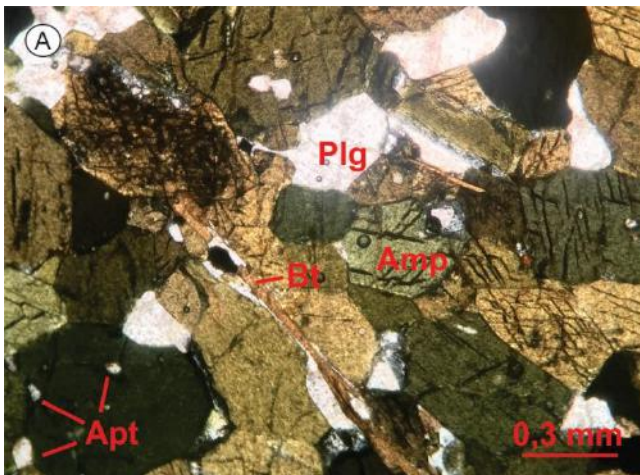
**Secundária:** Sericita (3% do plg).

**Litologia:** Ortoanfibolito

**Fácies Metamórfica:** Anfibolito

**Protólito:** Máfico (Diabásio)

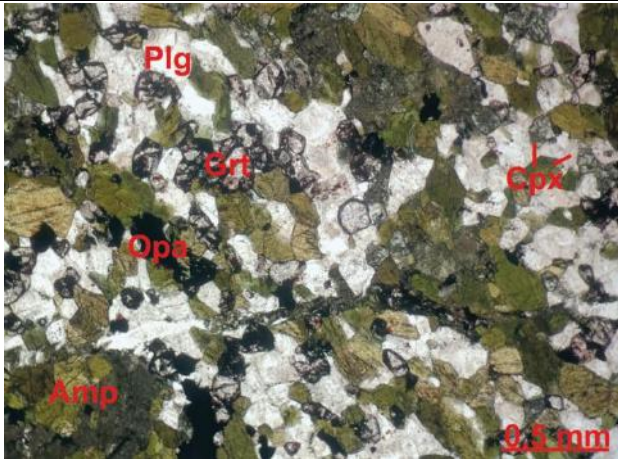
**Descrição:** Rocha de granulação fina, inequigranular, com textura granoblástica orientada, marcada por cristais tabulares alongados de hornblenda verde oliva acastanhada. Esses cristais têm entre 0,2-0,8 mm. Os cristais menores são euédricos, tendo suas faces cristalinas bem desenvolvidas, formando contatos retos e poligonais com o plagioclásio. Já os maiores são subédricos, suas faces são limitadas pelo plagioclásio. Em ambos os casos o contato é reto e demonstra equilíbrio (Fig. A). Há alguns raros porfíblastos que chegam a 1,2 mm (Fig. principal). Biotita ocorre localmente substituindo a hornblenda nas bordas dos cristais (Fig. A e B). O plagioclásio por sua vez, possui cristais com em média 0,4 mm, anédricos a subédricos, com boa cristalinidade. Tem pouca alteração para sericita, quando ocorrem, são somente nas bordas. Está em desequilíbrio com a titanita retrometamórfica (Fig B). O quartzo aparece em baixa proporção como inclusão em hornblenda e plagioclásio. É em sua maioria granular. Apatita e opacos anédricos granulares também aparecem como inclusões. A titanita ocorre disseminada na rocha, pode ser tanto granular como tabular. Pode ocorrer como inclusão, formando coronas exolvidas em ilmenita ou ainda limitando faces cristalinas da assembleia mineral em equilíbrio.





## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso - Raphaela Lopes de Andrade Silva  
Universidade Federal do Rio de Janeiro



**Lâmina:** RL-04

**Localização:** Parque Municipal Boca da Barra  
(192235/7466005 24S)

**Mineralogia;**

**Essencial:** Anfibólio (34%), Plagioclásio (30%), Clinopiroxênio (20%), Granada (18%)

**Acessória:** Ilmenita (5%), Rutilo (1%)

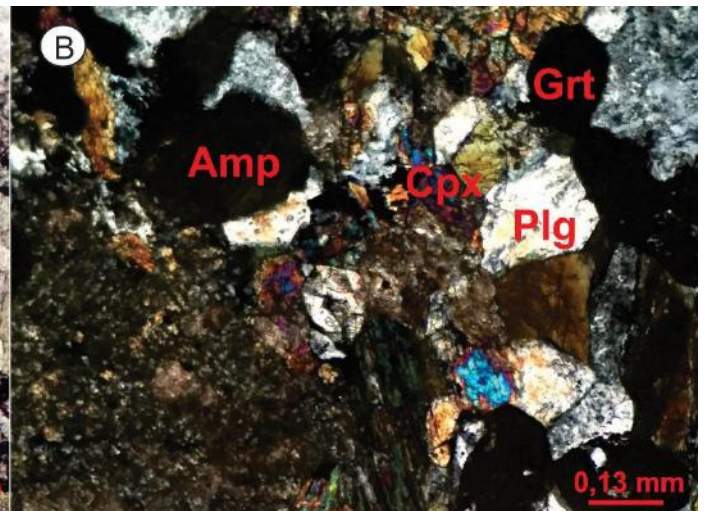
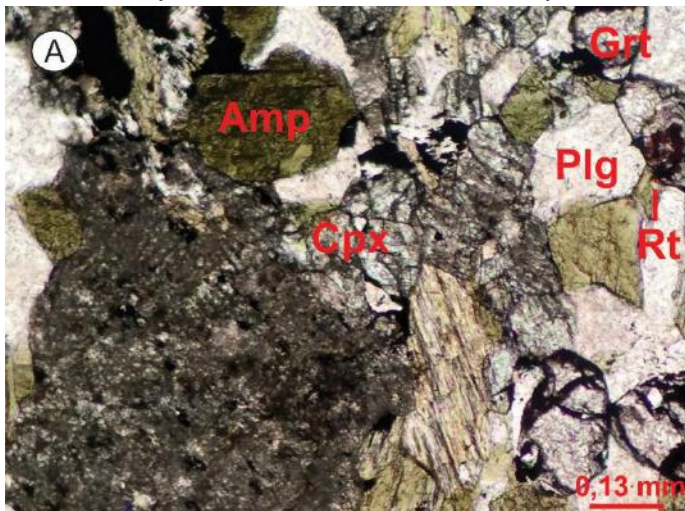
**Secundária:** Sericita (50% do plg)

**Litologia:** Granada-Piroxênio Ortoanfibolito

**Fácies** **Metamórfica:** Granulito  
retrometamorfizado para anfibolito

**Protólito:** Máfico (Diabásio)

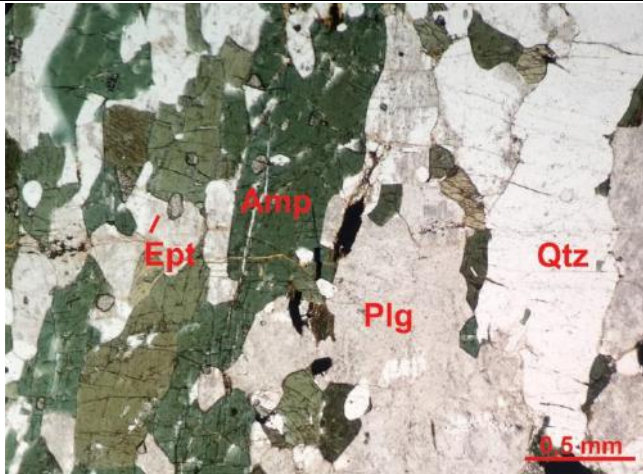
**Descrição:** Rocha equigranular, fina, com cristais em torno de 0,3 mm e textura granoblástica. A granada é majoritariamente subédrica, tendo por vezes faces cristalinas bem definidas e hábito granular. Estão associadas a rutilo e ao crescimento posterior de minerais opacos anédricos. O clinopiroxênio é verde claro e tem cor de interferência azul/rosa de 2º ordem. Também é granular, euédrico, mas por sua vez, está em forte desequilíbrio com a hornblenda. Granada e diopsídio estão moderadamente fraturados. Os cristais de hornblenda são verde oliva e crescem substituindo o piroxênio. Começam a formar grãos maiores a partir de aglomerados de piroxênio (Fig principal e A). O plagioclásio está altamente sericitizado, os limites de grãos são mal definidos, aparentando também não equilíbrio.





## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso - Raphaela Lopes de Andrade Silva  
Universidade Federal do Rio de Janeiro



**Lâmina:** RL-05

**Localização:** Parque Municipal Boca da Barra  
(192245/7466051 24S)

**Mineralogia:**

**Essencial:** Anfibólio (32%), Plagioclásio (55%), Quartzo (5%)

**Acessória:** Titanita (3%), Ilmenita (2%), Apatita (2%), Rutilo (1%), Zircão (<1%), Epidoto (1%)

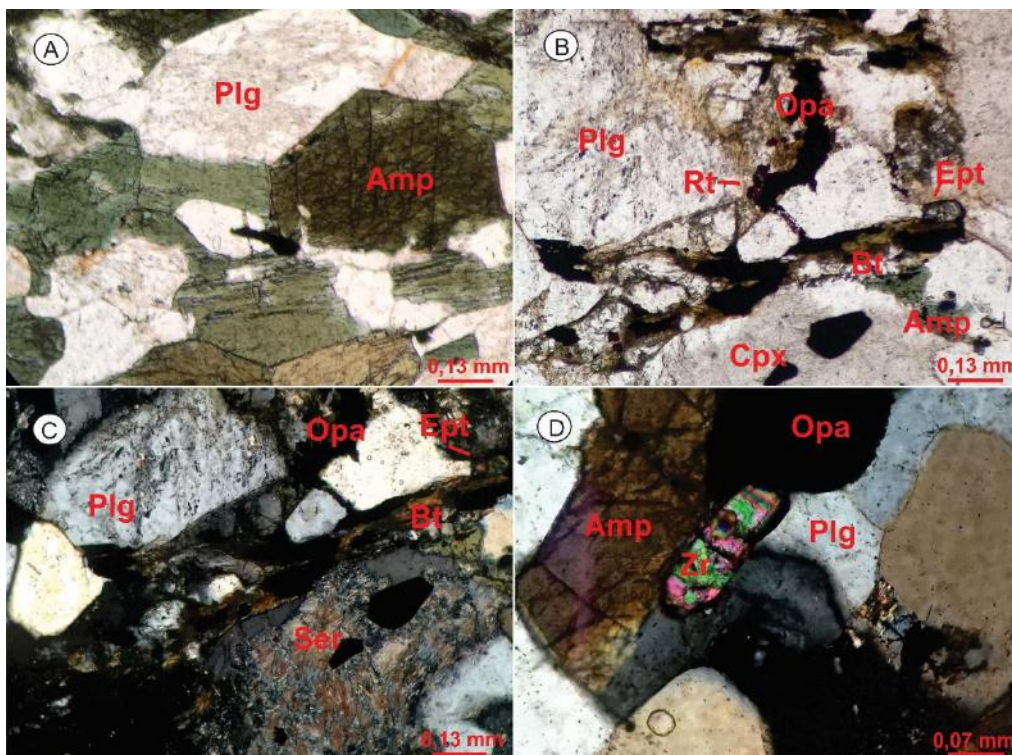
**Secundária:** Sericita (60-70% do plg)

**Litologia:** Ortoanfibolito

**Fácies Metamórfica:** Anfibolito

**Protólito:** Máfico (Diabásio)

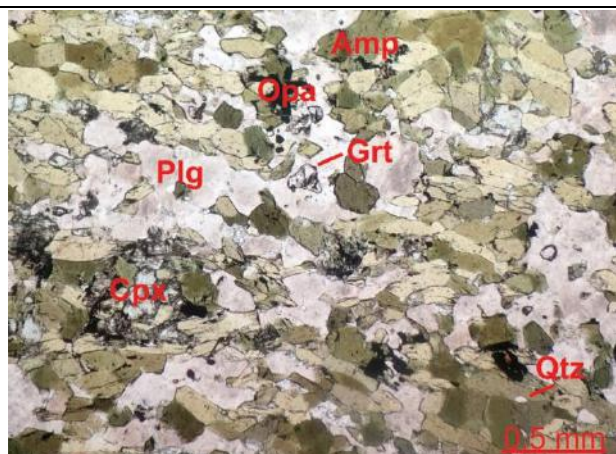
**Descrição:** A lâmina descreve o contato de um *boudin* de ortoanfibolito com leucossoma feldspático (Figura principal). Rocha de granulação média, equigranular com textura granoblástica orientada. Cristais de aproximadamente 1,5 mm com hábito tabular alongado. Anfibólio tem cor verde oliva atingindo tons de turquesa. É possível notar bordas de alteração composicional na hornblenda, com pleocroísmo e cor de interferência diferente (Fig. A). Cristais são subédricos, tem suas faces limitadas por plagioclásio e minerais acessórios. Localmente, próximo ao veio leucossomático, sofre biotitização. A biotita cresce sem orientação preferencial, seguindo apenas os contatos poligonais dos cristais pré existentes. Opacos ocorrem associados a esse contexto. Cristais reliquias de quartzo com hábito granular aparecem limitando as faces dos demais minerais. O plagioclásio ocorre extremamente sericitizado e com texturas simplectíticas a partir das bordas dos cristais (Fig. B e C). Há então, crescimento de epidoto posterior. Apatita e titanita ocorrem como inclusões ou limitando as faces cristalinas da hornblenda e do plagioclásio, sugerindo um crescimento anterior à estabilização da associação de minerais principais. Zircão também aparece limitando as faces da hornblenda e plagioclásio. Já o veio leucossomático é composto de K-feldspato e plagioclásio predominantemente.





## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso - Raphaela Lopes de Andrade Silva  
Universidade Federal do Rio de Janeiro



**Lâmina:** RL-06

**Localização:** Praia Brava (192278/7466092 24S)

**Mineralogia;**

**Essencial:** Anfibólio (30%), Plagioclásio (30%), Clinopiroxênio (24%), Granada (10%)

**Acessória:** Ilmenita (3%), Apatita (1%), Rutilo (2%)

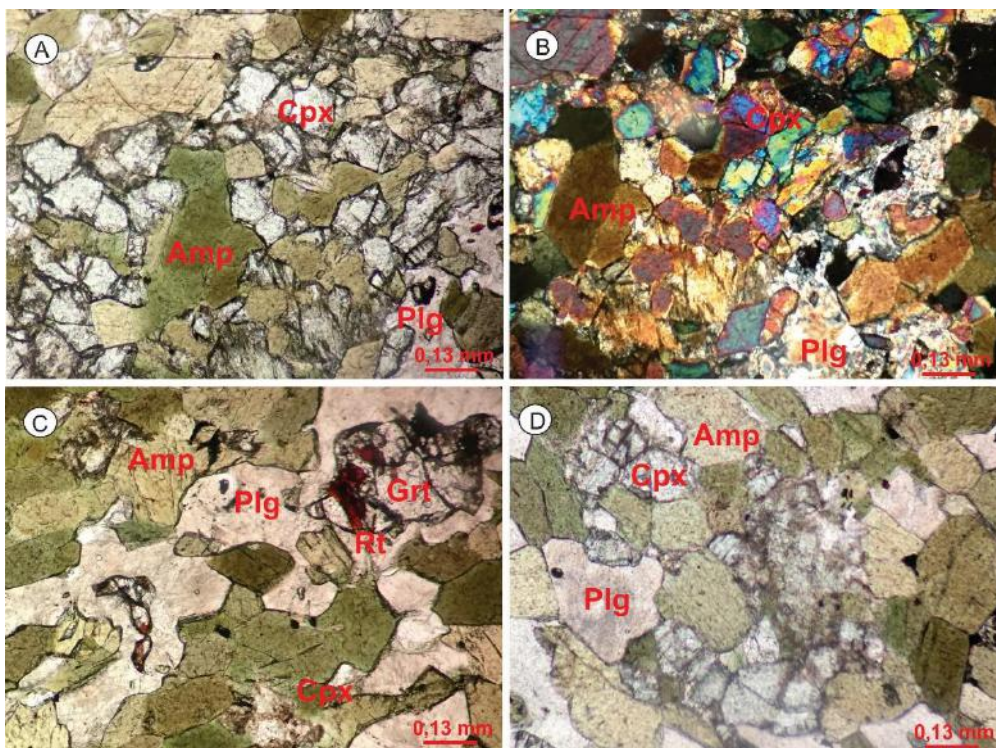
**Secundária:** Sericita (5% do plg)

**Litologia:** Granada-Piroxênio Ortoanfibolito

**Fácies** **Metamórfica:** Granulito retrometamorfizado para Anfibolito

**Protólito:** Máfico (Diabásio)

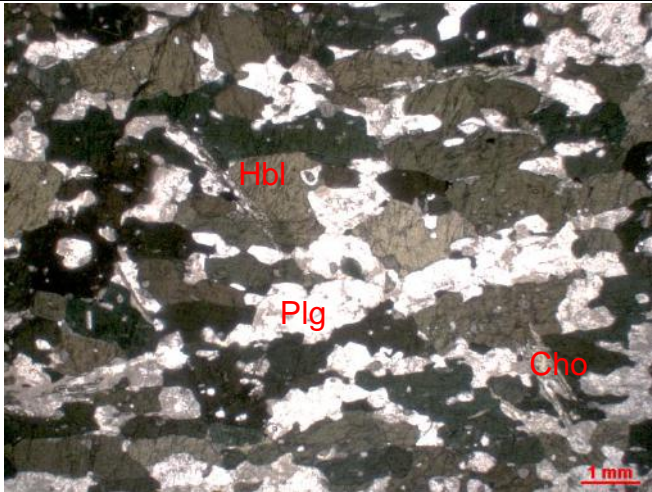
**Descrição:** Lâmina confeccionada a partir de *boudin* rotacionado de ortoanfibolito, preservado de fusão parcial. A rocha possui granulação fina e cristais equidimensionais. É marcada por dois domínios texturais, um granoblástico e outro nematoblástico (Fig. A e principal). O primeiro deles é composto por cristais equidimensionais poligonais de Cpx+Grt+Plg+Qtz, que formam contatos retos com junções poliedrais. Com aproximadamente 0,2 mm, os cristais são menores quando comparados com o segundo domínio, com cerca de 0,5 mm. O segundo domínio por sua vez forma uma trama mais espaçada, marcando a foliação principal da rocha através dos minerais alongados de Hbl+Plg. A luz natural a hornblenda é verde oliva, variando até verde pálido, enquanto que o diopsídio se destaca pela cor verde clara e a granada rosada (Almandina). O diopsídio se destaca pela alta cor de interferência (azul de 2º ordem) quando comparado a hornblenda, que só chega a amarelo/laranja. A granada tem rutilo associado as suas fraturas. O plagioclásio é subédrico e não possui contatos bem definidos entre os cristais. Nota-se que a sericitização ocorre mais concentrada no núcleo dos cristais de plagioclásio, sugerindo maior pré disposição composicional para tal alteração. Apatita ocorre como acessório, inclusa ou nos limites de grãos.





## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso - Raphaela Lopes de Andrade Silva  
Universidade Federal do Rio de Janeiro



**Lâmina:** RL-07A

**Localização:** Praia das Conchas  
(194225/7467977 WGS84 24S)

**Mineralogia;**

**Essencial:** Anfibólio (55%), Plagioclásio (25%), Quartzo (1%);

**Acessória:** Titanita (3%), Opacos (2%), Apatita (5%);

**Secundária:** Sericita (10% do plg), Clorita (10%).

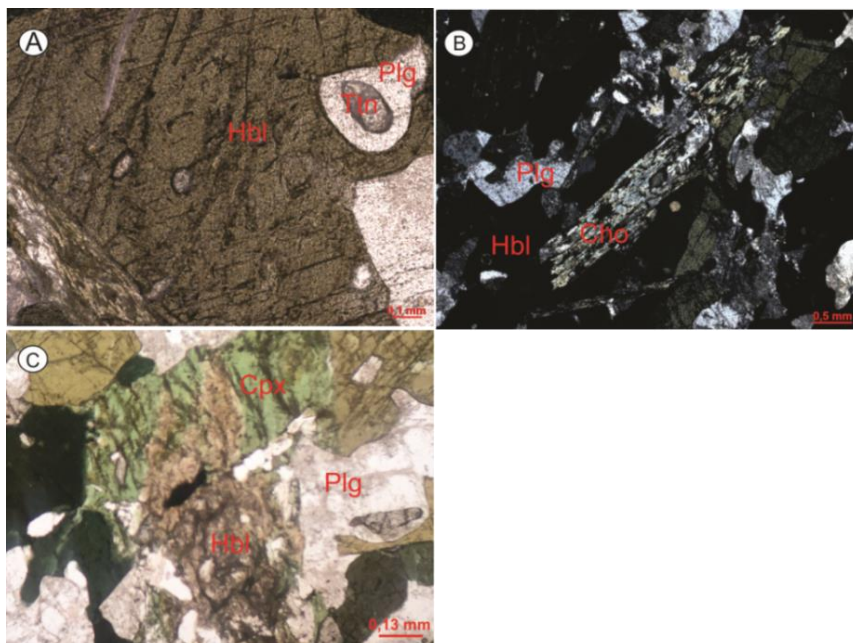
**Litologia:** Ortoanfibolito

**Fácies Metamórfica:** Anfibolito

**Protólito:** Máfico (Diabásio)

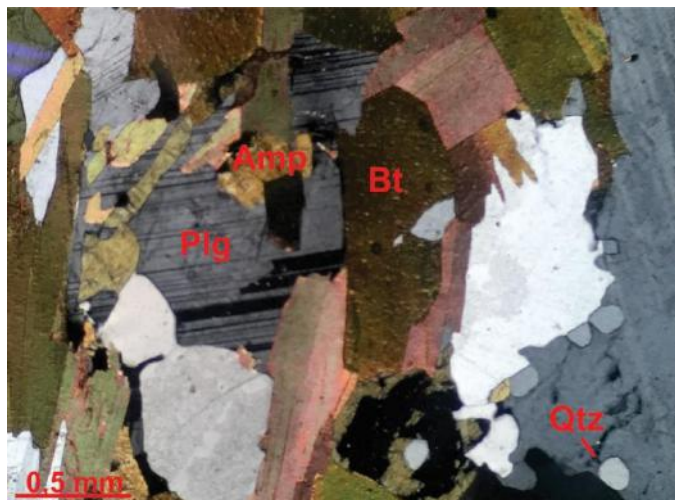
**Descrição:** Rocha inequigranular de granulação média a fina, onde predomina uma textura nematoblástica marcada pelo arranjo dos cristais alongados de anfibólio, que também evidenciam a foliação principal (Sn). Esses cristais (Hbl) a luz natural apresentam uma coloração verde escura por vezes azulada com pleocroísmo variando entre núcleo e borda, faces cristalinas poligonais e fraturas que seguem o padrão de clivagem 120°/60° típico do mineral. Já a nicóis cruzados é possível identificar cores de interferência laranja, porém mais altas nas bordas dos minerais, chegando até azul e rosa de segunda ordem. Foi interpretado que se tratavam de cristais de anfibólio com bordas retrometamorfizadas para actinolita. Outra feição observada foram inclusões de titanita com textura em corona de plagioclásio (Fig. A), evidenciando não equilíbrio entre as fases e também sugerindo retrometamorfismo. Há ainda substituição do anfibólio por biotita e está posteriormente por clorita sem uma direção não preferencial (Fig. B). O clinopirexênio aparece disperso, com hábito tabular, sendo substituído por hornblenda (Fig. C). Já os cristais de plagioclásio são tabulares, com faces cristalinas poligonais e em sua maioria sericitizados. Também estão presentes na rocha minerais opacos, anédricos associados à titanita, apatita granular, límpida, com cor de interferência cinza e quartzo reliquiar deformado.

Sequência cronológica de eventos: (1) metamorfismo progressivo gerando a paragênese  $Hbl + Plg \pm Cpx \pm Qtz$  (anfibolito alto); (2) metamorfismo retrógrado com a substituição da  $Cpx \rightarrow Hbl$  (anfibolito moderado), (3) Substituição da  $Hbl \rightarrow Act$ , sericitização cloritização.



## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso - Raphaela Lopes de Andrade Silva  
Universidade Federal do Rio de Janeiro



**Lâmina:** RL-07B

**Localização:** Praia das Conchas  
(194225/7467977 24S)

**Mineralogia:**

**Essencial:** Plagioclásio (67%), Anfibólio (15%), Biotita (5%), Quartzo (3%), Microclina (1%)

**Acessória:** Titanita (4%), Ilmenita (2%), Apatita (2%)

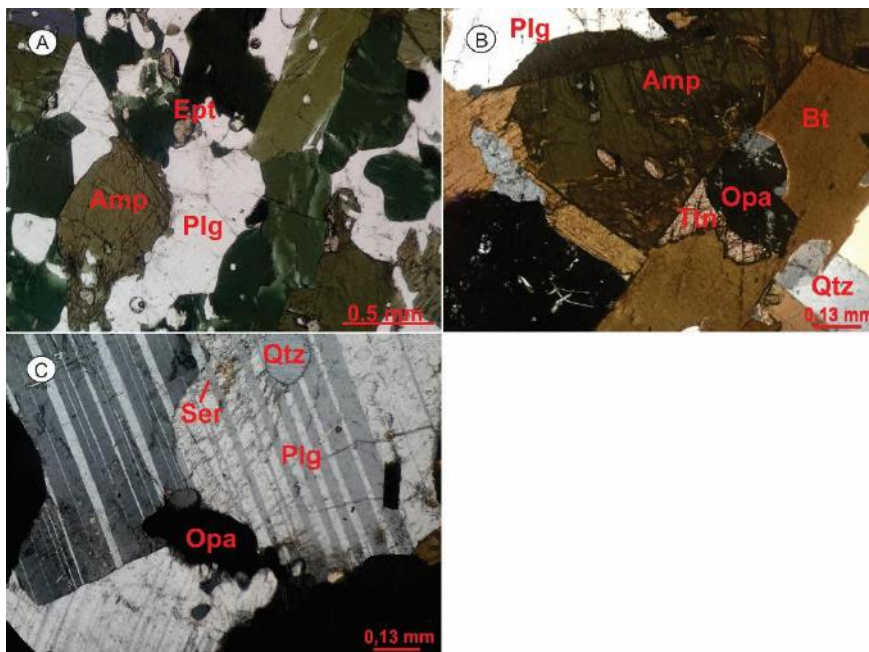
**Secundária:** Sericita (5% do plg) Epidoto (1%)

**Litologia:** Ortoanfibolito

**Fácies Metamórfica:** Xisto Verde

**Protólito:** Máfico (Diabásio)

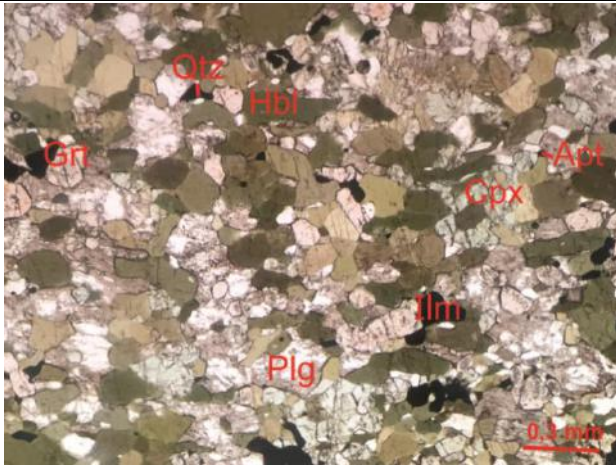
**Descrição:** Lâmina confeccionada a partir de amostragem da borda do corpo máfico em porção onde há fusão parcial *in situ*. O paleossoma é composto predominante por cristais tabulares de hornblenda verde a verde escuro com textura poiquilítica formada por inclusões de apatita. São fraturados segundo as duas direções de clivagem 60°-120° do anfibólio e seguem uma direção preferencial formando a foliação principal penetrativa da rocha. A titanita aparece de maneira intersticial entre os cristais de hornblenda (Fig. A), estando na maioria das vezes associados à ilmenita na forma de exolução, sendo possível identificar textura em corona (Fig. A e B). Também pode aparecer como inclusão no anfibólio. A biotita por sua vez ocorre substituindo a hornblenda nas margens das faces cristalinas do mineral e se concentra principalmente na porção que circunda o veio leucossomático (Fig. principal), indicando sua formação por uma reação de hidratação do anfibólio e confirmando que a fusão foi *in situ*. A biotitização do anfibólio também forma novos cristais de titanita. O leucossoma gerado a partir dessa rocha tem composição quartzo-feldspática (Fig. C), sendo mais de 80% cristais de plagioclásio tabulares e euédricos, com cerca de 5% alterando para sericita, que aparece como mineral secundário na rocha. Os 20% restantes são formados por quartzo, que aparece de forma granular nos interstícios ou incluso no plagioclásio, microclina (diferenciada por geminação tartan) e apatita, também granular e intersticial.





## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso - Raphaela Lopes de Andrade Silva  
Universidade Federal do Rio de Janeiro



**Lâmina:** RL-07C

**Localização:** Praia das Conchas  
(225203/415852 WGS84 24S)

**Mineralogia;**

**Essencial:** Hornblenda (29%), Plagioclásio (28%), Diopsídio (25%), Granada (12%), Quartzo (2%);

**Acessória:** Opacos (3%); Apatita (1%)

**Secundária:** Sericita (50% do plg)

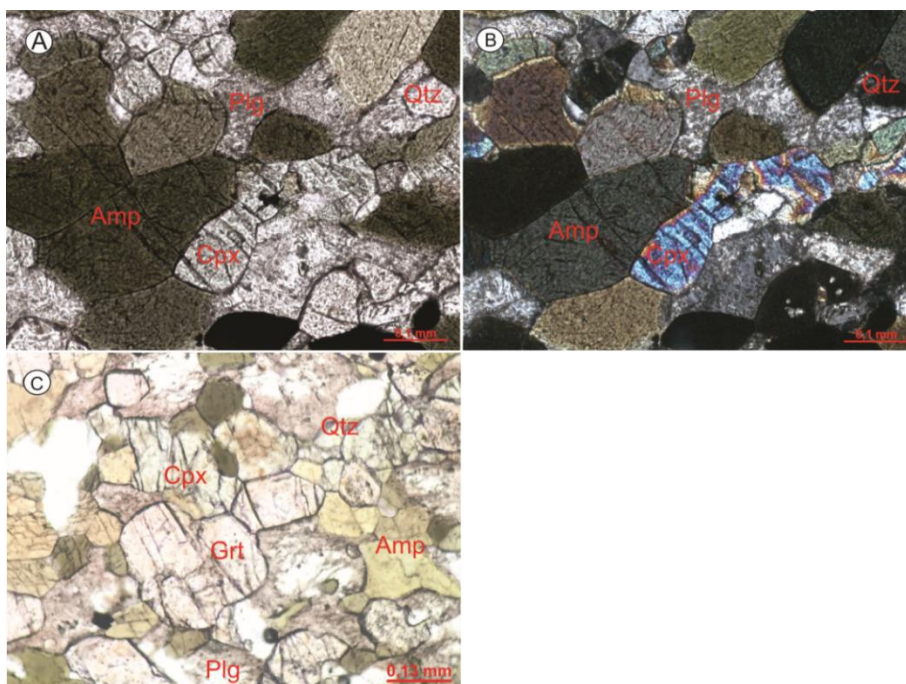
**Litologia:** Granada-Piroxênio Ortoanfibolito

**Fácies Metamórfica:** Granulito retrometamorfizado para Anfibolito

**Protólito:** Máfico (Diabásio)

**Descrição:** Granulação fina, inequigranular bimodal, marcada por dois domínios texturais. O primeiro deles é granoblástico (Fig. C), composto por cristais equidimensionais poligonais de Hbl+Cpx+Grt+Plg+Qtz (i) que formam contatos retos com junções poliedrais. São mais finos quando comparados com o segundo domínio, com cerca de 0,2 mm. A luz natural a Hbl é verde escura, enquanto que o diopsídio se destaca pela cor verde clara e alta cor de interferência (azul de 2º ordem) e a granada rosada (Almandina). O segundo domínio por sua vez forma uma trama mais espaçada, marcando a foliação principal da rocha através dos minerais alongados de Hbl+Plg (ii). A Hbl também verde a luz natural apresenta tonalidades mais claras e maior tamanho. O Plg aparece de maneira geral na rocha bastante sericitizado (cerca de 30-40%).

Foi observado que alguns cristais de hornblenda verde estavam em equilíbrio com a paragênese (i) citada (Fig A e B), porém outros eram resultados da substituição  $\text{Cpx} + \text{Grt} \rightarrow \text{Hbl}$ , que gerou (ii) retrometamórfica. A Hbl também aparece como cristais isolados entre cristais de diopsídio, configurando disequilíbrio por falta de contato mútuo (Fig. A e B). Esses exemplares preservam o metamorfismo progressivo que essa rocha passou antes de atingir seu pico metamórfico na fácies Granulito. A textura granoblástica poligonal atribuída a essa paragênese sugere uma recristalização de alto grau (annealing). Por outro lado, os cristais de Hbl associados ao retrometamorfismo (ii) estão orientados segundo a Sn principal NW-SE.



**APÊNDICE II**  
**(Tabelas de Química Mineral)**

PLAGIOCLÁSIO	Na2O	Al2O3	SiO2	MgO	CaO	FeO	K2O	TiO2	MnO	Cr2O3	Total
TH7E_C1_PLA_01_N	7,887	24,621	61,239	0	5,457	0,131	0,254	0,06	0,004	0	99,653
TH7E_C1_PLA_01_B	8,076	24,973	60,604	0,02	5,849	0,266	0,205	0,03	0	0,002	100,025
TH7E_C1_PLA_02_N	7,089	23,804	61,042	0	4,851	0,131	2,99	0	0,013	0	99,92
TH7E_C1_PLA_02_B	7,876	24,744	61,112	0,025	5,683	0,219	0,279	0,025	0	0	99,963
TH7E_C2_PLA_01_N	7,556	24,524	60,812	0	5,445	0,116	0,722	0,025	0,029	0	99,229
TH7E_C2_PLA_01_B	8,202	24,444	61,595	0,04	5,244	0,23	0,241	0	0,001	0,003	100
TH7E_C2_PLA_02_N	5,592	24,184	60,412	0,028	5,78	0,033	0,238	0,009	0	0,018	96,294
TH7E_C2_PLA_02_B	6,882	24,854	60,221	0	5,832	0,148	0,222	0,014	0,034	0,013	98,22
TH7E_C2_PLA_03_N	8,154	24,991	60,816	0,036	5,774	0,098	0,197	0,028	0	0	100,094
TH7E_C2_PLA_03_B	6,893	24,522	60,677	0,012	5,817	0,258	0,237	0	0,015	0,008	98,439
TH7E_C3_PLA_01_N	7,458	24,622	60,98	0	5,574	0,129	0,334	0	0	0,002	99,099
TH7E_C3_PLA_01_B	7,847	24,045	60,573	0,039	5,209	0,17	0,275	0,034	0	0	98,192
TH7E_C3_PLA_02_N	7,784	24,402	61,124	0,005	5,607	0,16	0,225	0	0,05	0,024	99,381
TH7E_C3_PLA_02_B	8,045	24,557	60,915	0	5,63	0,097	0,229	0	0,004	0	99,477
TH7K_C1_PLA_01_N	7,218	25,57	59,365	0	7,057	0,118	0,261	0,006	0,011	0,002	99,608
TH7K_C1_PLA_01_B	6,308	26,525	56,451	0,027	2,824	1,537	5,061	0	0,051	0,009	98,793
TH7K_C1_PLA_02_N	7,248	25,918	59,27	0,003	6,908	0,03	0,253	0,033	0,011	0	99,674
TH7K_C1_PLA_02_B	9,116	21,305	62,83	0,026	2,433	0,152	0,256	0,023	0,037	0	96,178
TH7K_C1_PLA_03_N	6,981	26,016	59,026	0	7,107	0,145	0,277	0,02	0	0,004	99,576
TH7K_C1_PLA_03_B	6,958	25,879	59,536	0,027	7,252	0,204	0,21	0,012	0,061	0,016	100,155
TH7K_C2_PLA_01_N	7,125	25,87	59,101	0,018	7,19	0,155	0,217	0,005	0	0	99,681
TH7K_C2_PLA_01_B	7,154	25,883	59,151	0,008	6,869	0,297	0,266	0,055	0	0,017	99,7
TH7K_C2_PLA_02_N	7,067	25,746	59,325	0,01	6,967	0,067	0,315	0,001	0,01	0	99,508
TH7K_C2_PLA_02_B	6,901	25,679	59,074	0	6,993	0,205	0,277	0,003	0,028	0,019	99,179
TH7K_C2_PLA_03_N	5,88	27,465	57,12	0,037	1,228	0,644	6,548	0	0,016	0,011	98,949
TH7K_C2_PLA_03_B	6,972	25,639	59,412	0,01	6,992	0,19	0,271	0,008	0,033	0,004	99,531
TH7K_C2_PLA_04	7,031	25,631	59,396	0	6,964	0,189	0,271	0,01	0,012	0	99,504
TH7J_C1_PLA_01_N	7,313	25,143	60,486	0	6,471	0,181	0,112	0	0	0	99,706
TH7J_C1_PLA_01_B	7,19	25,544	59,753	0	7,031	0,206	0,106	0,005	0,01	0	99,845
TH7J_C1_PLA_02_N	7,457	25,057	60,49	0	6,339	0,045	0,09	0	0	0	99,478
TH7J_C1_PLA_02_B	7,615	25,016	60,691	0,004	6,203	0,191	0,125	0	0,016	0	99,861
TH7J_C1_PLA_03_N	7,259	24,473	60,064	0,092	6,165	0,982	0,139	0	0	0,018	99,192
TH7J_C1_PLA_03_B1	7,335	25,134	60,162	0,01	6,477	0,386	0,077	0,001	0	0	99,582
TH7J_C1_PLA_03_B2	7,462	25,314	60,152	0	6,589	0,286	0,085	0,016	0,039	0	99,943
TH7J_C2_PLA_01_N	7,685	24,666	61,267	0	5,962	0,122	0,152	0	0	0,02	99,874
TH7J_C2_PLA_01_B	7,281	25,667	59,789	0,007	6,729	0,127	0,113	0	0	0	99,713
TH7J_C2_PLA_02_N	7,345	25,259	60,522	0,008	6,499	0,124	0,103	0	0,019	0	99,879
TH7J_C2_PLA_02_B	6,392	23,049	57,258	0,019	6,497	0,217	0,13	0	0	0	93,562
TH7J_C2_PLA_03	7,665	25,069	60,426	0,023	6,29	0,171	0,118	0	0	0	99,762
TH7J_C2_PLA_04_N	7,408	24,858	60,649	0	6,287	0,188	0,121	0,013	0	0,006	99,53
TH7J_C2_PLA_04_B	7,237	25,582	59,772	0,004	6,978	0,276	0,121	0,021	0,015	0,008	100,014
TH7J_C3_PLA_01_N	7,617	24,668	60,899	0,025	6,144	0,136	0,114	0,01	0,023	0	99,636
TH7J_C3_PLA_01_B	7,461	24,958	60,489	0,022	6,157	0,229	0,11	0,032	0	0,012	99,47

TH7J_C3_PLA_02_N	7,707	25,009	61,054	0,014	6,157	0,243	0,142	0	0,004	0,027	100,357
TH7J_C3_PLA_02_B	7,434	25,472	60,203	0	6,728	0,166	0,079	0	0,019	0,02	100,121

ANFIBÓLIO	Na2O	Al2O3	SiO2	MgO	FeO	CaO	K2O	TiO2	MnO	Total
TH7J_C1_ANF_01_N	2,187	12,125	41,54	8,814	20,667	11,077	0,318	1,806	0,138	98,672
TH7J_C1_ANF_01_B	2,254	12,078	41,401	8,707	20,384	11,307	0,359	1,822	0,134	98,446
TH7J_C1_ANF_02_N	2,257	12,259	40,665	8,58	20,624	10,997	0,316	1,901	0,148	97,747
TH7J_C1_ANF_02_B	2,177	11,972	41,574	8,819	20,59	11,146	0,342	1,795	0,18	98,595
TH7J_C2_ANF_01_N	2,265	12,958	40,305	8,408	20,595	10,864	0,327	1,8	0,177	97,699
TH7J_C2_ANF_01_B	2,206	12,044	41,144	8,811	20,437	11,246	0,325	1,797	0,127	98,137
TH7J_C2_ANF_02_N	2,223	12,149	41,241	8,76	20,532	11,079	0,299	1,836	0,156	98,275
TH7J_C2_ANF_02_B	2,165	11,97	41,729	8,97	20,4	11,342	0,314	1,75	0,178	98,818
TH7J_C2_ANF_03	2,09	12,121	40,905	8,517	20,555	11,181	0,326	1,832	0,177	97,704
TH7J_C2_ANF_04	2,277	12,328	40,005	8,272	21,745	10,788	0,333	1,718	0,185	97,651
TH7J_C3_ANF_01_N	2,043	12,218	41,064	8,768	20,628	11,162	0,338	1,872	0,186	98,279
TH7J_C3_ANF_01_B	1,962	11,856	41,579	8,916	19,666	11,326	0,361	1,805	0,146	97,617
TH7J_C3_ANF_02	2,133	12,144	41,707	8,984	20,094	11,212	0,342	1,893	0,149	98,658
TH7J_C3_ANF_03_N	2,14	12,14	41,579	8,936	20,382	11,398	0,36	1,765	0,173	98,873
TH7J_C3_ANF_03_B	1,97	11,792	41,867	9,03	20,307	11,209	0,307	1,764	0,159	98,405
TH7J_C3_ANF_04	2,114	12,033	41,558	9,034	20,571	11,188	0,344	1,822	0,206	98,87
TH7K_C1_ANF_01_N	1,798	12,512	39,23	7,738	20,846	11,258	1,249	1,866	0,412	96,909
TH7K_C1_ANF_01_B	1,637	11,943	40,117	8,123	20,459	11,601	1,279	1,668	0,434	97,261
TH7K_C1_ANF_02_N	1,652	12,214	40,337	7,872	20,603	11,381	1,202	1,815	0,419	97,495
TH7K_C1_ANF_02_B	1,756	12,393	40,642	8,072	20,676	11,331	1,219	1,55	0,413	98,052
TH7K_C1_ANF_03_N	1,707	12,432	40,269	8,048	20,929	11,412	1,208	1,783	0,418	98,206
TH7K_C1_ANF_03_B	1,735	12,377	40,533	8,129	20,313	11,404	1,249	1,605	0,442	97,787
TH7K_C1_ANF_04_N	1,689	12,662	40,419	8,01	20,849	11,425	1,282	1,897	0,431	98,664
TH7K_C1_ANF_04_B	1,681	12,173	40,044	8,02	20,535	11,357	1,246	1,828	0,432	97,316
TH7K_C1_ANF_05_N	1,762	12,39	39,925	7,953	20,72	11,371	1,2	1,762	0,423	97,506
TH7K_C1_ANF_05_B	1,722	12,445	40,75	8,157	20,367	11,394	1,311	1,648	0,384	98,178
TH7K_C2_ANF_01_N	1,686	12,583	40,233	7,979	20,714	11,525	1,267	1,669	0,437	98,093
TH7K_C2_ANF_01_B	1,73	12,365	40,684	8,039	20,961	11,623	1,209	1,498	0,407	98,516
TH7K_C2_ANF_02_N	1,858	12,615	40,444	8,076	20,878	11,478	1,232	1,758	0,376	98,715
TH7K_C2_ANF_02_B	1,733	12,608	39,503	7,669	20,019	11,25	1,206	1,694	0,377	96,059
TH7K_C2_ANF_03_N	1,822	12,518	40,099	7,981	20,974	11,368	1,23	1,724	0,372	98,088
TH7K_C2_ANF_03_B	1,771	12,438	40,653	8,225	21,1	11,506	1,225	1,641	0,409	98,968
TH7K_C2_ANF_04_N	1,763	12,492	40,265	7,966	20,848	11,483	1,213	1,769	0,443	98,242
TH7K_C2_ANF_04_B	1,799	12,628	40,282	8,102	21,01	11,437	1,168	1,718	0,395	98,539
TH7E_C1_ANF_01_B1	1,436	12,131	40,834	8,289	20,331	11,588	1,473	1,474	0,443	97,999
TH7E_C1_ANF_01_B2	1,391	12,179	40,535	8,248	20,746	11,648	1,48	1,524	0,428	98,179
TH7E_C1_ANF_01_N	1,333	11,907	40,783	8,463	20,024	11,787	1,391	1,541	0,42	97,649
TH7E_C1_ANF_02_N	1,511	12,251	40,537	8,174	20,422	11,574	1,635	1,726	0,46	98,29
TH7E_C1_ANF_02_B	1,308	11,149	42,857	9,225	20,368	11,693	1,505	1,508	0,432	100,045
TH7E_C2_ANF_01_N	1,589	12,195	40,595	8,228	20,407	11,649	1,582	1,759	0,462	98,466

TH7E_C2_ANF_01_B1	1,515	12,238	40,449	8,156	21,017	11,7	1,543	1,682	0,467	98,767
TH7E_C2_ANF_01_B2	1,45	12,052	40,676	8,218	20,494	11,661	1,475	1,641	0,48	98,147
TH7E_C2_ANF_02	1,612	12,313	39,972	8,062	21,002	11,434	1,589	1,546	0,476	98,006
TH7E_C2_ANF_03	1,558	12,292	40,507	8,219	20,803	11,6	1,631	1,648	0,514	98,772
TH7E_C3_ANF_01_N	1,582	12,508	40,007	7,998	20,433	11,538	1,703	1,791	0,448	98,008
TH7E_C3_ANF_01_B1	1,572	12,397	40,399	8,157	20,586	11,617	1,556	1,9	0,427	98,611
TH7E_C3_ANF_01_B2	1,486	12,135	40,72	8,205	20,93	11,639	1,588	1,368	0,465	98,536
TH7E_C3_ANF_02_N	1,453	12,002	38,03	7,465	20,904	11,428	1,724	1,79	0,477	95,273
TH7E_C3_ANF_02_B	1,431	12,286	39,92	7,927	20,024	11,683	1,608	1,525	0,475	96,879
TH7E_C3_ANF_03_N	1,45	12,194	40,496	8,263	19,826	11,728	1,56	1,408	0,405	97,33
TH7E_C3_ANF_03_B1	1,353	12,308	40,769	8,304	20,269	11,611	1,358	1,094	0,454	97,52
TH7E_C3_ANF_03_B2	1,45	12,263	40,602	8,358	20,277	11,613	1,502	1,252	0,413	97,73

GRANADA	SiO2	MgO	Al2O3	CaO	FeO	TiO2	MnO	Cr2O3	Total
TH7J_C1_GRA_01_N	37,381	3,729	21,546	7,177	30,157	0,024	1,464	0	101,478
TH7J_C1_GRA_01_B	37,151	3,612	21,636	6,867	30,088	0,008	1,521	0,012	100,895
TH7J_C1_GRA_02	37,196	3,718	21,566	7,044	29,078	0	1,448	0,018	100,068
TH7J_C1_GRA_03_N	37,19	3,809	21,549	7,865	28,463	0	1,358	0	100,234
TH7J_C1_GRA_03_B	37,325	3,557	21,544	7,475	29,271	0,008	1,441	0	100,621
TH7J_C1_GRA_04_N	37,312	3,722	21,545	7,857	28,671	0,017	1,398	0,005	100,527
TH7J_C1_GRA_04_B	37,106	3,808	21,636	7,035	29,307	0	1,435	0,002	100,329
TH7J_C1_GRA_05_N	37,539	3,874	21,698	7,147	29,211	0	1,379	0,024	100,872
TH7J_C1_GRA_05_B	37,573	3,783	21,69	7,208	29,322	0	1,388	0,007	100,971
TH7J_C2_GRA_01_N	37,387	3,953	21,761	7,03	29,262	0	1,454	0,021	100,868
TH7J_C2_GRA_01_B	37,461	3,866	21,475	7,194	28,214	0,01	1,496	0	99,716
TH7J_C2_GRA_02_N	37,269	3,769	21,621	7,916	28,459	0,001	1,395	0,024	100,454
TH7J_C2_GRA_02_B	37,295	3,786	21,826	7,333	28,968	0	1,425	0	100,633
TH7J_C2_GRA_03	37,462	3,753	21,731	7,81	28,409	0	1,37	0,008	100,543
TH7J_C2_GRA_04_N	37,488	3,933	21,752	6,831	29,35	0	1,513	0,005	100,872
TH7J_C2_GRA_04_B	37,352	3,536	21,381	7,167	29,639	0,025	1,637	0,027	100,764
TH7J_C3_GRA_01_N	37,312	3,682	21,473	7,412	29,654	0,003	1,484	0,014	101,034
TH7J_C3_GRA_01_B	37,696	3,776	21,239	6,812	29,586	0,014	1,536	0	100,659
TH7J_C3_GRA_02_N	37,627	3,883	21,349	6,855	29,542	0	1,455	0,002	100,713
TH7J_C3_GRA_02_B	37,363	3,791	21,457	6,756	29,719	0,004	1,483	0	100,573
TH7J_C3_GRA_03_N	37,315	3,87	21,761	7,112	29,224	0,014	1,459	0	100,755
TH7J_C3_GRA_03_B	37,248	3,729	21,568	7,266	29,264	0,008	1,472	0	100,555
TH7J_C3_GRA_04_N	37,331	3,822	21,732	7,007	29,302	0	1,447	0	100,641
TH7J_C3_GRA_04_B	37,42	3,669	21,468	7,398	29,087	0,017	1,391	0	100,45
TH7J_C3_GRA_05_N	37,186	3,701	21,507	7,345	29,579	0,022	1,489	0,023	100,852
TH7J_C3_GRA_05_B	37,505	3,55	21,307	7,981	27,596	0,023	1,4	0,033	99,395

PIROXÊNIO	Al2O3	SiO2	MgO	FeO	CaO	TiO2	Cr2O3	MnO	Total
TH7J_C1_CPX_P1	2,158	51,338	11,644	13,062	21,427	0,191	0,03	0,226	100,076



TH7J_C1_CPX_P2	3,101	51,095	10,914	12,94	21,115	0,239	0,099	0,235	99,738
TH7J_C1_CPX_P3	2,941	51,446	10,252	13,6	19,589	0,241	0,21	0,209	98,488
TH7J_C1_CPX_P4	2,617	51,149	11,019	13,727	20,499	0,165	0,302	0,238	99,716
TH7J_C1_CPX_P5	2,923	50,904	10,935	13,496	20,764	0,227	0,33	0,248	99,827
TH7J_C1_CPX_P6	3,172	51,086	10,737	13,787	20,744	0,195	0,271	0,219	100,211
TH7J_C1_CPX_P7	2,834	50,964	11,179	14,452	20,219	0,184	0,06	0,242	100,134
TH7J_C2_CPX_01	2,943	50,54	11,23	13,503	20,334	0,244	0,01	0,232	99,036
TH7J_C2_CPX_02_N	3,069	51,506	10,73	13,644	20,532	0,248	0,049	0,256	100,034
TH7J_C2_CPX_02_B	2,558	51,36	11,277	13,19	20,994	0,212	0	0,211	99,802
TH7J_C2_CPX_03_N	2,488	51,34	11,559	13,498	20,695	0,198	0,019	0,228	100,025
TH7J_C2_CPX_03_B	2,312	52,195	11,512	13,233	21,158	0,166	0,05	0,238	100,864
TH7J_C3_CPX_01_N	3,28	50,937	10,865	13,699	20,695	0,245	0,05	0,248	100,019
TH7J_C3_CPX_01_B	2,902	51,402	11,413	12,955	20,874	0,261	0,011	0,226	100,044
TH7J_C3_CPX_02_N	2,993	51,086	11,272	14,047	20,106	0,207	0	0,248	99,959
TH7J_C3_CPX_02_B	2,344	51,55	11,056	12,567	20,867	0,164	0	0,273	98,821
TH7J_C3_CPX_03	3,208	50,61	11,043	13,843	20,116	0,284	0,004	0,261	99,369
TH7J_C3_CPX_04_N	3,317	50,885	10,71	13,944	20,68	0,284	0,038	0,24	100,098
TH7J_C3_CPX_04_B	2,829	50,998	11,188	13,781	20,598	0,217	0,012	0,221	99,844

BIOTITA	MgO	Al2O3	SiO2	FeO	K2O	TiO2	Total
TH7E_C1_BIOT_01	10,757	15,861	35,809	21,467	9,452	3,383	96,729
TH7E_C1_BIOT_02_N	8,584	12,203	40,999	20,395	1,584	1,451	85,216
TH7E_C1_BIOT_02_B	8,06	11,361	38,464	20,545	1,497	1,418	81,345
TH7E_C1_BIOT_03_N	10,99	15,545	35,766	21,406	9,408	3,374	96,489
TH7E_C1_BIOT_03_B	10,962	15,597	35,515	21,86	9,194	3,133	96,261
TH7E_C3_BIOT_01	11,899	16,05	35,759	20,977	9,175	2,711	96,571
TH7E_C3_BIOT_02_N	11,39	15,698	35,295	21,346	8,635	2,946	95,31
TH7E_C3_BIOT_02_B	11,235	15,944	35,588	21,023	9,236	3,163	96,189
TH7E_C3_BIOT_03_N	10,849	15,575	35,739	20,803	9,546	3,609	96,121
TH7E_C3_BIOT_03_B	11,212	15,695	35,231	21,872	9,004	3,204	96,218
TH7E_C3_BIOT_04_N	10,923	15,73	35,627	21,511	9,434	3,65	96,875
TH7E_C3_BIOT_04_B	10,932	15,851	35,689	21,177	9,349	3,583	96,581

TITANITA	Al2O3	SiO2	MgO	Na2O	FeO	CaO	TiO2	Cr2O3	MnO	Total
TH7E_C1_TIT_01	1,207	29,941	0,016	0,011	0,531	27,977	37,237	0,003	0,151	97,074
TH7E_C1_TIT_02	1,255	30,112	0,009	0,007	0,616	28,171	37,495	0,029	0,137	97,831
TH7E_C2_TIT_01	1,318	29,911	0,003	0,012	0,564	28,295	37,41	0	0,14	97,653
TH7E_C2_TIT_02	1,478	30,333	0,029	0,039	0,404	28,637	37,877	0,022	0,114	98,933
TH7E_C2_TIT_03	13,318	40,839	7,819	0,343	20,988	11,282	1,639	0,034	0,417	96,679
TH7E_C3_TIT_01	5,068	1,035	0,056	0	0,331	42,64	0,48	0,044	0,053	49,707
TH7E_C3_TIT_02	1,519	29,927	0,01	0	0,279	28,641	37,877	0	0,102	98,355
TH7E_C3_TIT_03	1,577	30,135	0	0	0,31	28,355	38,016	0	0,151	98,544

OPACOS	MgO	TiO2	FeO	MnO	Total
TH7J_C1_OPACO_01	0,02	0,332	94,82	0,005	95,177
TH7J_C1_OPACO_02	0,763	47,326	49,933	0,485	98,507
TH7J_C2_OPACO_01	0,861	2,732	77,732	0	81,325
TH7J_C2_OPACO_02	0,644	47,553	50,337	0,393	98,927
TH7J_C2_OPACO_03	0,029	0,379	94,168	0,01	94,586
TH7J_C3_OPACO_01	0,078	0,24	92,839	0	93,157
TH7J_C3_OPACO_02	0,3	44,355	53,26	0,394	98,309
TH7E_C1_OPACO_01	0,017	0,055	94,209	0,02	94,301
TH7E_C1_OPACO_02	0,16	47,164	49,115	2,482	98,921
TH7E_C3_OPACO_01	0,011	0,164	94,602	0,007	94,784
TH7E_C3_OPACO_02	0,046	47,691	47,897	3,588	99,222
TH7E_C3_OPACO_03	0,034	0	94,541	0,091	94,666
TH7K_C1_OPACO_01	0,896	16,555	64,168	0,285	81,904
TH7K_C1_OPACO_02	0,29	45,128	48,098	0,989	94,505
TH7K_C1_OPACO_03	0,019	0,04	94,121	0,048	94,228
TH7K_C2_OPACO_01	0,359	45,449	50,479	1,039	97,326
TH7K_C2_OPACO_02	0,091	44,573	51,511	1,005	97,18

**APÊNDICE III**  
**(Tabelas de dados U-Pb)**

Tabela de dados U-Pb LA-ICP-MS (Amostra RL-07A)

isotopic ratios									
Spot number	Pb	Th	U	207Pb/	1 s	206Pb/	1 s		
f 206a	ppm	ppm	ppm	Th/Ub	235U	[%]	238U	[%]	
RL-07A1	0,002256	61,45723	89,70477	205,8061	0,43587	3,833679	3,896564	0,249212	3,178761
RL-07A2	0,004624	35,55989	123,5339	91,77309	1,34608	3,933877	3,442992	0,250943	1,921707
RL-07A3	0,002856	46,80993	158,6249	101,2638	1,566453	4,513337	3,304216	0,282546	1,884149
RL-07A4	0,00315	34,37668	55,86424	202,9644	0,275242	1,932854	4,081794	0,148393	2,417553
RL-07A5	0,15345	0,428412	0,239082	5,171883	0,046227	0,649136	105,5372	0,081151	43,2292
RL-07A6	0,001558	70,04036	206,8117	141,764	1,458845	5,304463	2,709191	0,325148	1,757227
RL-07A7	0,001245	111,8029	176,6872	254,0538	0,695472	5,707495	2,621954	0,347439	1,922891
RL-07A8	0,003314	28,95803	15,14278	81,14871	0,186605	4,972146	4,011875	0,324859	3,138357
RL-07A9	0,003239	24,95525	59,69586	51,65	1,155777	5,770521	3,658325	0,350645	2,855469

ages									
Rhod	207Pb/	1 s	206Pb/	1 s	207Pb/	1 s	207Pb/	1 s	%
	206Pbe	[%]	238U	abs	235U	abs	206Pb	abs	Concf
0,815786	0,111569	2,253594	1434,411	45,5965	1599,846	62,339	1825,139	41,13122	78,59188
0,55815	0,113696	2,856788	1443,335	27,73667	1620,678	55,79983	1859,312	53,1166	77,62739
0,570226	0,115853	2,714374	1604,171	30,22497	1733,432	57,27632	1893,191	51,38827	84,7337
0,592277	0,094468	3,288842	891,9485	21,56332	1092,528	44,59473	1517,488	49,90777	58,77797
0,409611	0,058015	96,2774	502,991	217,439	507,9469	536,0729	530,3218	510,5801	94,84637
0,648617	0,11832	2,062006	1814,82	6538,118	720,8889	7213,99	1931,013	39,81759	93,9828
0,733381	0,119142	1,782452	1922,357	36,96483	1932,503	50,66934	1943,4	34,64017	98,91718
0,782267	0,111006	2,499171	1813,414	56,91142	1814,597	72,79938	1815,956	45,38385	99,86003
0,78054	0,119357	2,28684	1937,676	55,32975	1941,999	71,04465	1946,614	44,51594	99,54087

Tabela de dados SHRIMP (Amostra RL-02A)

Spot	204Pb	±%	207Pb	±%	208Pb	±%	206Pb	±%	7-corr	%	ppm	ppm	7-corr	7-corr	232Th	±%
	/206Pb		/206Pb		/206Pb		/238U		/206Pb	c	U	Th	ppm	ppm	/238U	
RL-02A 1.1	1,3E-4	26	0,121	0,49	0,24	0,9	1,26	1,9	3,8E-4	0,58	135	115	39	9,2	0,88	0,46
RL-02A 2.1	4,5E-5	50	0,059	0,76	0,04	2,5	0,24	0,4	9,1E-5	0,16	454	46	31	1,2	0,10	0,49
RL-02A 2.2	5,2E-4	50	0,066	4,07	0,54	2,5	0,27	1,2	6,2E-4	1,11	36	54	2	1,3	1,57	0,54
RL-02A 1.2	1,2E-4	33	0,119	0,62	0,24	1,2	1,12	1,7	1,4E-3	2,30	95	79	23	4,6	0,86	0,46
RL-02A 4.1	3,1E-4	27	0,063	1,01	0,80	0,9	0,31	2,7	3,4E-4	0,60	195	504	15	11,9	2,67	0,32
RL-02A 4.2	1,7E-4	32	0,062	0,91	0,32	1,1	0,28	2,2	2,2E-4	0,39	270	260	21	6,5	0,99	0,34
RL-02A 1.3	1,7E-5	58	0,113	0,41	0,32	0,7	0,82	1,0	1,8E-3	2,87	289	323	60	15,8	1,16	0,33
RL-02A 5.1	2,1E-4	28	0,062	0,88	0,66	0,8	0,27	3,1	2,2E-4	0,40	285	604	21	14,1	2,19	0,32
RL-02A 5.2	1,5E-4	35	0,061	0,95	0,69	0,9	0,30	2,8	1,9E-4	0,34	249	547	19	13,0	2,27	0,65
RL-02A 6.1	1,9E-4	29	0,062	1,37	0,74	0,8	0,24	3,8	1,9E-4	0,34	483	1104	39	28,5	2,36	0,32
RL-02A 6.2	2,7E-4	35	0,063	1,25	0,71	1,1	0,28	2,4	2,9E-4	0,52	137	304	11	7,6	2,28	0,36

(1)	(2)	(3)	(1)	(1)	(2)	(3)	Dis-	7corr	Total
206Pb	206Pb	206Pb	207Pb	208Pb	208Pb	207Pb	cor-	208Pb	238U
/238U	/238U	/238U	/206Pb	/232Th	/232Th	/206Pb	dant	/232Th	/206Pb
								±%	±%
1900 ±19	1894 ±21	1912 ±21	1945 ±11	1794 ±28	1731 ±39	2036 ±17	+3	0,089	2,9
500 ±5	500 ±5	499 ±5	525 ±21	598 ±21	571 ±24	427 ±21	+5	0,029	12,4
494 ±8	493 ±8	484 ±11	548 ±175	531 ±19	527 ±17	-363 ±1157	+10	0,026	3,3
1629 ±18	1598 ±19	1637 ±20	1908 ±14	1552 ±28	1255 ±30	1986 ±20	+17	0,064	2,5
550 ±6	550 ±6	565 ±10	566 ±50	526 ±8	526 ±7	1217 ±758	+3	0,026	1,4
546 ±5	546 ±5	544 ±6	571 ±36	558 ±9	555 ±9	453 ±71	+4	0,028	1,6
1424 ±13	1387 ±13	1440 ±15	1840 ±8	1326 ±16	1071 ±16	2000 ±19	+25	0,054	4,0
541 ±5	541 ±5	550 ±8	548 ±38	521 ±7	521 ±7	994 ±413	+1	0,026	1,3
548 ±5	548 ±6	556 ±9	571 ±35	532 ±8	531 ±8	952 ±518	+4	0,027	1,5
573 ±5	573 ±6	572 ±9	575 ±43	574 ±7	574 ±8	534 ±733	+0	0,029	1,3
561 ±6	560 ±6	564 ±10	575 ±58	555 ±9	554 ±9	728 ±826	+3	0,028	1,7



Total 207Pb /206Pb	±%	238U /206Pb	±%	(1) 207Pb <sup>+</sup> /206Pb	±%	(1) 207Pb <sup>+</sup> /235U	±%	(1) 206Pb <sup>+</sup> /238U	±%	err corr	238U /206Pb	±%	(3) 207Pb <sup>+</sup> /206Pb	±%	(3) 207Pb <sup>+</sup> /235U	±%	(3) 206Pb <sup>+</sup> /238U	±%	err. corr.
0,121	0,49	2,9	1,2	0,119	0,6	5,63	1,3	0,343	1,2	0,9	2,9	1,3	0,125	0,9	5,97	1,4	0,345	1,3	0,8
0,059	0,76	12,4	1,0	0,058	1,0	0,64	1,3	0,081	1,0	0,7	12,4	1,0	0,055	0,9	0,61	1,2	0,080	1,0	0,7
0,066	4,07	12,5	1,7	0,058	8,0	0,64	8,2	0,080	1,7	0,2	12,8	2,4	0,040	44,7	0,43	45,8	0,078	2,4	0,5
0,119	0,62	3,5	1,2	0,117	0,8	4,63	1,5	0,287	1,2	0,8	3,5	1,4	0,122	1,1	4,86	1,6	0,289	1,4	0,7
0,063	1,01	11,2	1,1	0,059	2,3	0,72	2,5	0,089	1,1	0,4	10,9	1,9	0,081	38,5	1,02	39,6	0,092	1,9	0,6
0,062	0,91	11,3	1,0	0,059	1,6	0,72	1,9	0,088	1,0	0,5	11,3	1,2	0,056	3,2	0,68	3,5	0,088	1,2	0,4
0,113	0,41	4,0	1,0	0,112	0,4	3,83	1,1	0,247	1,0	0,9	4,0	1,2	0,123	1,1	4,24	1,6	0,250	1,2	0,7
0,062	0,88	11,4	1,0	0,058	1,7	0,71	2,0	0,088	1,0	0,5	11,2	1,6	0,072	20,3	0,89	21,1	0,089	1,6	0,5
0,061	0,95	11,3	1,0	0,059	1,6	0,72	1,9	0,089	1,0	0,5	11,1	1,7	0,071	25,3	0,88	26,2	0,090	1,7	0,6
0,062	1,37	10,8	1,0	0,059	2,0	0,76	2,2	0,093	1,0	0,5	10,8	1,6	0,058	33,5	0,74	34,2	0,093	1,6	0,5
0,063	1,25	11,0	1,1	0,059	2,7	0,74	2,9	0,091	1,1	0,4	10,9	1,9	0,064	39,0	0,80	40,0	0,091	1,9	0,5